


FONDO PROVINCIA

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

ERRATA

Page 8, ligne 34 de la note, *au lieu de :* 40 tonnes de poids, *lisez :* 400 tonnes de poids.
Page 254, ligne 6, *au lieu de :* un châssis de voiture, *lisez :* un chemin de voiture.
Même page, ligne 28, *au lieu de :* chaque travée est fournie d'arcs de cercle, *lisez :* chaque travée est formée d'arcs de cercle.
Page 420, ligne 5, *au lieu de :* virant de côté, *lisez :* versant de côté.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.



Ingénieur du chemin de Liverpool à Manchester,
père de Robert

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

PAR

AUG. PERDONNET

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES
ADMINISTRATEUR DES CHEMINS DE L'EST DE LA FRANCE ET DE L'OUEST DE LA SUISSE, MEMBRE DU COMITÉ DE DIRECTION
DES CHEMINS DE FER DE L'EST DE LA FRANCE
PRÉSIDENT HONORAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE, ETC.

DEUXIÈME ÉDITION

TOME PREMIER

PARIS
LANGLOIS ET LECLERCQ, ÉDITEURS
10, RUE DES MATHURINS-SAINT-JACQUES

1858

PRÉFACE

DE LA PREMIÈRE ÉDITION

Il y a aujourd'hui vingt-cinq ans, nous publiions avec M. Léon Coste un ouvrage intitulé : *Mémoire sur les chemins à ornières de fer*, l'un des premiers qui aient paru en France sur les chemins de fer. Un an plus tard, nous ouvrions à l'École centrale des arts et manufactures le premier cours qui ait été fait en France sur la construction et sur le matériel de ces nouvelles voies de communication; la même année enfin, nous écrivions dans un rapport à l'Association polytechnique les lignes suivantes :

« Parmi les grandes questions industrielles qui occupent aujourd'hui le public, aucune sans contredit n'est plus importante que celle des chemins de fer. Ce n'est pas une question purement industrielle; elle touche en même temps à nos intérêts moraux et à nos intérêts matériels. Elle offre un sujet de méditation de la plus haute importance à l'administrateur et au philosophe, aussi bien qu'à l'ingénieur et au commerçant ou à l'homme de guerre... Les chemins de fer, par la prodigieuse célérité qu'ils établissent dans les communications, deviennent l'un des moyens les plus puissants de

civilisation, comme un des remparts les plus efficaces contre les agressions ennemies...

« Le transport des voyageurs et des marchandises précieuses sera l'objet principal des revenus des chemins de fer; mais une grande partie des frais généraux, tels que frais d'administration, perception, entretien, qui ne varient pas proportionnellement à la circulation, pouvant être supportés par les voyageurs et les marchandises précieuses ou les objets manufacturés, ce qui n'arrive pas généralement avec les canaux, les chemins de fer pourront souvent, en abaissant leur tarif, lutter avec les canaux, *même pour le transport des marchandises lourdes.* »

Nos prédictions se sont réalisées. Le succès a dépassé nos espérances. Les chemins de fer sillonnent déjà, dans tous les sens, la plus grande partie de l'Europe et l'Amérique septentrionale; l'Amérique centrale et méridionale, l'Asie, l'Afrique, l'Australie, ont leurs chemins de fer; et bientôt ceux-ci, traversant des contrées presque inhabitées, iront propager la civilisation jusque dans les régions les plus éloignées.

Les convois de marchandises ne sont pas moins nombreux que ceux de voyageurs, et les chemins de fer ont enfanté le télégraphe électrique, instrument non moins merveilleux peut-être que le chemin de fer lui-même.

Déjà, de 1840 à 1842, nous avons publié avec M. Polonceau un ouvrage sur les chemins de fer intitulé : *Portefeuille de l'ingénieur*, qui ne s'adressait qu'aux hommes pratiques. Celui que nous livrons aujourd'hui à l'impression est moins spécial, et pourra être lu, du moins en grande partie, par un public plus nombreux, tout en fournissant des indications utiles aux hommes de l'art.

Tracer en peu de mots l'histoire des chemins de fer, esquisser l'art de les construire, tel est le but que nous nous sommes proposé dans cet ouvrage.

Les procédés suivis pour les établir sont si variés, les progrès qu'ils font chaque jour sont si rapides, que nous aurions reculé devant cette tâche difficile, si par notre position nous n'avions pu nous assurer facilement le concours des ingénieurs de toutes nos grandes lignes, et plus particulièrement celui des ingénieurs des chemins de fer de l'Est. C'est donc en quelque sorte leur ouvrage collectif que nous offrons aujourd'hui au public plus que le nôtre. Il serait trop long de les citer; mais nous devons des remercîments spéciaux à M. Gustave Bridel, ancien inspecteur du matériel du chemin de fer de l'Est, et ingénieur en second au palais de l'Industrie. Telle a été sa coopération à ce travail, qu'il aurait pu, s'il n'était aussi modeste que capable, revendiquer le droit de placer son nom avec le nôtre en tête de ce livre.

PRÉFACE

DE LA DEUXIÈME ÉDITION

Le succès que la première édition du *Traité élémentaire des chemins de fer* a obtenu ne nous a pas aveuglé sur ses imperfections.

Nous avons apporté tous nos soins à les faire disparaître dans la publication d'une nouvelle édition.

Le premier chapitre, traitant des avantages respectifs des différentes espèces de voies de communication, a été entièrement refondu.

L'histoire des chemins de fer a été complétée, et nous nous nous sommes appliqué, en la retraçant rapidement, à faire connaître, autant que nous l'avons pu, le nom des hommes qui ont le plus contribué, dans les différents pays, à l'établissement de ces voies nouvelles. — Le portrait de Georges Stephenson, l'ingénieur du chemin de Liverpool à Manchester, figure en tête du premier volume; celui de Marc Séguin, l'inventeur de la machine locomotive à grande vitesse, sera placé en tête du second.

Nous avons enrichi le chapitre du tracé d'importants détails sur l'accroissement des frais d'exploitation occasionné par les fortes pentes et sur le tracé des chemins de fer en pays de montagne.

Des chiffres du plus haut intérêt, empruntés aux documents statistiques publiés par le gouvernement français, ont été introduits dans le chapitre consacré aux frais de construction des chemins de fer et à l'établissement des devis.

Des études nouvelles et complètes sur les procédés de terrassement et sur ceux d'assainissement des grandes tranchées ou des grands remblais ont trouvé place au chapitre des terrassements et travaux d'art. Nous avons ajouté quelques lignes aussi sur les travaux d'art.

De belles planches représentant les magnifiques ouvrages en maçonnerie du chemin de Mulhouse ont été jointes à l'appui du texte.

Nous avons, au moyen de quelques additions ou modifications, signalé les progrès faits par l'industrie dans la construction des accessoires de la voie.

Un article fort long a été rédigé sur les signaux fixes destinés à prévenir les accidents.

Nous avons enfin réuni aux documents des données numériques dont nous pouvons garantir la parfaite exactitude, et qui seront appréciés, nous n'en doutons pas, par les hommes pratiques.

Le *Traité élémentaire* n'est pas l'œuvre d'un seul : c'est celui des nombreux ingénieurs qui nous ont prêté leur concours, ingénieurs parmi lesquels figurent en première ligne nos anciens élèves. C'est ce qui en fait le principal mérite.

PLAN DE L'OUVRAGE

Nous adopterons pour la rédaction de cet ouvrage le plan qui suit :

Après avoir établi la supériorité des chemins de fer sur les autres voies de communication artificielles, en avoir esquissé l'histoire dans les différents pays, et donné quelques notions générales sur leur mode de construction ainsi que sur les moteurs qui les desservent, nous suivrons méthodiquement, dans ses opérations, l'ingénieur appelé à construire un chemin de fer.

Ainsi, traitant d'abord du tracé, nous passerons en revue les considérations qui doivent guider dans le choix de la meilleure ligne, et nous indiquerons les règles qui conduisent à la détermination de cette ligne sur le terrain. Nous verrons ensuite comment les préceptes que nous aurons posés ont été appliqués sur les principaux chemins construits en France ou à l'étranger, et nous traiterons, dans un chapitre spécial intitulé *Des frais de construction*, de la rédaction des devis.

Nous jetterons un coup d'œil rapide sur les méthodes les plus usitées dans les travaux de terrassements que nécessite l'établissement des chemins de fer, sur les conditions que doivent remplir les travaux d'art, et sur le mode de construc-

tion de la chaussée. Nous décrirons les différentes espèces de rails, coussinets, changements de voie, plaques tournantes, etc..., qui composent la voie proprement dite, et nous serons ainsi tout naturellement conduit à traiter de la disposition des gares ou stations où sont employés presque exclusivement ces changements de voie et plaques tournantes.

Après la description de la voie et des gares, viendra celle du matériel roulant, voitures et locomotives, ainsi que celle des machines fixes et des plans automoteurs. Nous développerons quelques considérations théoriques sur la résistance opposée par les véhicules à l'action des moteurs et sur le calcul de la puissance des locomotives. Nous ferons connaître les différents moyens proposés ou employés pour diminuer cette résistance (système Laignel, système Arnoux), et nous terminerons par une description succincte et critique des nouveaux moyens de locomotion tentés avec plus ou moins de succès jusqu'à ce jour (système atmosphérique anglais et français, système Jouffroy, système Andraud, système Pecqueur, système Chameroy, système Seguier, système Erickson, etc.).

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

CHAPITRE PREMIER

COMPARAISON DES VOIES DE COMMUNICATION

L'importance des chemins de fer comme voie de communication a rapidement grandi dans ces dernières années.

Jusqu'en 1829, époque de l'ouverture du chemin de Liverpool à Manchester et de l'invention de la locomotive à chaudière tubulaire, on n'en fit guère usage que pour conduire les produits des mines ou des usines aux voies navigables, naturelles ou artificielles, et, même après le succès de cette grande expérience, les partisans des anciens moyens de transport soutinrent-ils quelque temps encore que le succès était exceptionnel, et que les chemins de fer ne pouvaient réussir que dans certaines localités privilégiées, très-rares, et seulement pour de courtes distances.

L'activité de la circulation qui se développa sur les chemins de Londres à Birmingham et de Londres à Bristol, livrés au public quelques années après celui de Liverpool, détruisit cette erreur. Force fut bien alors de reconnaître que les chemins de fer étaient appelés à jouer un rôle important dans le monde politique et com-

mercial, en rapprochant les États, les cités et les hommes, en multipliant les rapports entre les individus, en facilitant les échanges de produits et d'idées, en mêlant les intérêts et faisant disparaître, par un contact fréquent, les préjugés locaux et les haines nationales.

Aussi, aujourd'hui, l'utilité économique et philosophique des chemins de fer n'est-elle plus contestée par personne; tout le monde la reconnaît; mais on diffère encore sur la limite de leur puissance. Suivant quelques auteurs, elle est bornée et ne s'étend guère au delà du transport des personnes, de leurs bagages et de certaines marchandises de peu de volume et d'une grande valeur; pour tout le reste, les routes ou les canaux leur seraient préférables, comme exigeant moins de dépenses de premier établissement et d'exploitation.

Suivant d'autres écrivains, au contraire, la supériorité des chemins de fer est absolue, aucune concurrence ne peut leur être opposée, ils remplaceront tous les autres moyens de communication, et ils doivent être préférés dorénavant aux routes et même aux canaux pour desservir les contrées dont la viabilité est incomplète.

Nous essayerons, avant d'entamer la description technique des chemins de fer, sinon de résoudre ce problème, du moins de le simplifier, en présentant les résultats d'une observation calme et impartiale des faits déjà constatés et des circonstances au milieu desquelles ils se sont produits.

Commençons par quelques mots sur le rôle modeste laissé aux routes ordinaires par l'invention des chemins de fer.

Routes. — *Perpendiculaires aux voies de fer, les routes de terre sont le premier agent de leur prospérité;* ce sont elles qui les alimentent de voyageurs et de marchandises empruntés à tous les centres d'habitations placés dans la zone d'action du chemin, zone qui s'élargit en raison de la longueur de la ligne.

Parallèles aux railways, les routes peuvent lutter avec avantage ou conserver du moins une activité suffisante lorsqu'il s'agit de courtes distances, parce qu'elles pénètrent plus à l'intérieur des villes et permettent de prendre et de livrer les marchandises à domicile sans transbordement ni frais accessoires de factage; parce que les voitures qui les desservent peuvent recueillir et déposer les voya-

geurs des points intermédiaires pour ainsi dire à leur porte, tandis que les chemins de fer n'ont que de rares stations où ils ne s'arrêtent même pas toujours, et exigent un long trajet pour arriver à leurs gares, souvent situées à l'extrémité des villes.

Les routes sont, en outre, toujours préférables aux chemins de fer dans les pays de hautes montagnes, en raison des frais excessifs d'exploitation qu'entraîneraient des courbes de petit rayon et des rampes très-inclinées que l'on ne pourrait éviter qu'au moyen de dépenses inadmissibles; aussi n'est-ce que par exception que l'on a établi des chemins de fer au travers de chaînes élevées, et seulement lorsqu'il s'agissait de réunir les parties déjà construites dans des contrées moins accidentées.

Enfin, il convient également de préférer les routes ordinaires aux chemins de fer, lorsqu'on est appelé à desservir des contrées où la circulation n'a pas atteint ou ne paraît pas devoir atteindre promptement un certain degré d'activité.

Nous aurions voulu pouvoir déterminer exactement quels sont le maximum de tonnage ou de trafic et la plus petite distance pour lesquels la route ordinaire cesse de pouvoir lutter avec les chemins de fer, mais ce sont là des calculs impossibles à faire exactement, les éléments variant avec les localités et les circonstances particulières à chaque chemin.

En général, on trouve qu'il est peu avantageux d'établir un chemin de fer si le mouvement n'est au moins de 60 à 80,000 tonnes de marchandises transportées par an sur toute la ligne, ou l'équivalent en voyageurs.

Une des plus grandes difficultés, dans ces sortes de calculs, est de bien déterminer le prix du roulage. Les entrepreneurs ont, sur un grand nombre de routes voisines des chemins de fer, réduit leurs prix à un taux de beaucoup inférieur à celui sur lequel on avait établi des comparaisons. Cela tient en partie à ce qu'ils ont pu considérer le capital de leur matériel comme amorti par les bénéfices qu'ils avaient faits antérieurement.

L'éloignement du point de départ ou du point d'arrivée d'un chemin de fer, du domicile ou du lieu de destination du voyageur, a sans doute beaucoup moins d'influence sur la circulation de ce

chemin que celui du point de départ ou d'arrivée des magasins de l'expéditeur ou du destinataire de marchandises. Il s'en faut cependant que les chemins de fer absorbent la totalité du mouvement des voyageurs, lorsqu'ils sont courts et que leurs points de départ et d'arrivée sont très-éloignés du centre des villes qu'ils desservent. Ainsi, entre Paris et Versailles, malgré l'existence de deux chemins de fer, les voitures publiques continuent de transporter un grand nombre de voyageurs, dont, à la vérité, une partie provient des localités intermédiaires, et le chemin de Saint-Germain n'est pas parvenu à éteindre entièrement la concurrence.

Canaux. — La puissance de bon marché des canaux pour une circulation active étant beaucoup plus grande que celle des routes, et se rapprochant davantage de celle des chemins de fer, et les voyageurs se trouvant à peu près exclus des canaux, tandis qu'ils procurent aux chemins de fer et aux routes à barrières une très-grande partie de leurs revenus, la question de savoir quel est le mode de transport le plus économique est, pour les canaux comparés aux chemins de fer, moins simple que pour les routes.

Les canaux consommant, pour leur alimentation, surtout dans les pays montueux où les écluses sont nombreuses, une grande quantité d'eau que souvent on ne peut amener dans leur lit qu'à grands frais, et qu'il est quelquefois impossible de se procurer [1],

[1] A l'appui de cette assertion, nous ferons observer : 1° que la quantité d'eau nécessaire pour élever une certaine charge à une certaine hauteur est généralement égale à six fois le poids de cette charge tombant de la même hauteur, et, pour la faire descendre, égale à quatre fois le poids ; 2° qu'une très-grande partie de l'eau qui alimente le canal se perdant par les filtrations, l'évaporation et les pertes d'écluses, on serait encore très-loin de suffire à la dépense du canal, si on ne lui fournissait, au point de partage, qu'un volume d'eau égal à six fois le poids des charges qui montent, et quatre fois celui des charges qui descendent. Il faut, dit M. Huerne de Pommeuse, qu'il entre dans le lit du canal une quantité d'eau égale au moins à *vingt fois* son prisme de remplissage (ou capacité totale de la ligne navigable) pour suffire aux dépenses d'eau qu'il doit subir, tant pour le remplissage des écluses que pour remplacer ce qu'enlèvent l'évaporation et la filtration ; 3° que les filtrations sont d'autant plus redoutables que le point de partage est placé à une plus grande élévation au-dessus du niveau de la mer.

Il est souvent impossible ou extrêmement coûteux de se procurer cette masse d'eau énorme qu'exige le canal. Quelquefois on ne peut l'amener dans le lit du canal qu'en privant de nombreuses usines de force motrice, ou des prairies étendues de moyens d'irrigation. Il arrive même sur certains canaux que l'on est obligé d'élever de l'eau d'une écluse à une autre, au moyen de machines à vapeur, comme, par exemple, sur le canal de Birmingham. Une faible partie de cette eau précieuse suffirait pour développer éco-

la multiplicité des écluses autant que la grandeur des bassins et la longueur des rigoles en rendent l'établissement extrêmement dispendieux.

Les canaux deviennent donc impraticables dans certains pays accidentés, où l'on construit au contraire des chemins de fer avec avantage.

Ce fait n'est pas contesté. Si, pour établir des communications entre le bassin houiller de Saint-Étienne et les bassins de la Loire ou du Rhône, on a construit des chemins de fer, ce n'est qu'après avoir reconnu la presque impossibilité d'y établir des canaux.

Le chemin de fer de Darlington à Stockton, celui d'Alais à Beaucaire, celui de Sarrebrück à Nancy et beaucoup d'autres, ont été également construits dans des localités où l'on ne pouvait songer à creuser des canaux.

Tous ces chemins de fer ouvrent des débouchés à de magnifiques bassins houillers qui, sans leur secours, seraient restés à peu près improductifs.

Le développement progressif de la circulation sur la plupart de ces nouvelles voies et le chiffre qu'elle a atteint après quelques années témoignent assez des immenses services qu'elles rendent à l'industrie.

Ainsi, sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, le tonnage, qui

n'était,	en 1833,	que	de 322,635	tonnes, est devenu,
	en 1840,	—	de 577,480	—
	en 1847,	—	de 865,611	—
	en 1851,	—	de 772,627	—
	en 1855,	—	de 1,010,157	—
	en 1856,	—	de 1,052,000	—

nomiquement sur un chemin de fer la force mécanique nécessaire au moyen de roues à augets, ou mieux encore de machines à volume d'eau. S'il y a excès, les rigoles distribueront le superflu à l'agriculture et aux établissements industriels. Si l'eau se trouvait en grande abondance, on est presque toujours certain de pouvoir tirer un parti avantageux du surplus de la force qu'absorberait le canal en faveur de fabriques heureusement placées entre deux centres commerciaux sur une ligne fréquentée. Dans certaines localités, des machines fixes à vapeur, placées au sommet des pentes, remorqueraient les convois à moins de frais. Les machines locomotives peuvent même remonter les pentes qui ne dépassent pas 3 centimètres 1/2 par mètre. (Pente *maxima* du chemin de Turin à Gênes.)

Sur le chemin de Darlington à Stockton, le tonnage a été, en 1826, 1re année d'exploitation, de 101,500 tonnes,

2e	—	de 141,647	—
3e	—	de 130,031	—
4e	—	de 171,840	—
5e	—	de 288,714	—
6e	—	de 450,100	—
7e	—	de 507,452	—
»	—	de 693,000	—
20e	—	de 988,700	—

parcourant la distance entière.

Sur celui d'Alais à Beaucaire, les chiffres du tonnage ont été, la 1re année d'exploitation, de 95,170 tonnes,

2e	—	de 161,780	—
3e	—	de 178,700	—
4e	—	de 235,000	—
5e	—	de 264,890	—
6e	—	de 308,640	—

parcourant partie ou totalité de la ligne.

Quand le sol est moins accidenté, le canal devient possible aussi bien que le chemin de fer, et c'est alors seulement qu'il peut y avoir rivalité entre ces deux voies de communication.

Personne, avons-nous dit, ne met en doute la supériorité des chemins de fer pour le transport des voyageurs; les marchandises de roulage même avaient semblé jusqu'à ce jour devoir leur appartenir exclusivement; mais des expériences faites tout récemment sur les canaux du Nord et de Bourgogne, dans le but d'appliquer la force motrice de la vapeur au transport sur les canaux[1], obtiennent un succès tel, que les compagnies de chemins de fer ne peuvent se considérer comme étant entièrement à l'abri de la concurrence de la navigation artificielle pour le transport de cette nature de marchandises, dans certains cas[2]. La compagnie du chemin de fer

[1] Les bateaux à vapeur employés avec succès sur les canaux ne sont pas des *remorqueurs*. Ils portent les marchandises et s'appellent, par cette raison, bateaux *porteurs*.

[2] Frais d'entretien. — Les frais d'entretien des chemins de fer, et surtout ceux des canaux dans l'origine, sont considérables, parce qu'il faut subir les tassements sur le chemin de fer, et obvier aux filtrations sur le canal. Rejetant ces dépenses dans les frais de

du Nord éprouve déjà un certain préjudice de celle qui lui est faite par les bateaux à vapeur naviguant sur les canaux. A de petites vitesses, ce nouveau mode de transport sur les voies de navigation artificielles est moins économique que l'ancien. Si donc nous vou-

construction proprement dite, nous n'entendons parler ici que des frais d'entretien réguliers d'un chemin de fer ou d'un canal après un certain nombre d'années de mise en exploitation. Les frais d'entretien de la voie navigable, si l'on défalque le produit de la pêche et des plantations, paraissent assez faibles pour un canal avec un petit nombre d'écluses; ils augmentent avec le nombre des écluses. Sur le canal du Languedoc, où l'on rencontre cent écluses sur une longueur de 241 kilomètres, les frais d'entretien, d'administration et de perception, étaient, il y a une vingtaine d'années, de 2,700 fr. par kilomètre, les frais d'entretien seuls d'environ 2,100 fr. Sur le canal de Briare, dont la pente est rachetée par quarante écluses distribuées sur une longueur de 56 kilomètres, les frais d'entretien sont d'environ 1,800 fr. par kilomètre; sur le canal du Centre, ils ont été de 1,400 fr., mais ce canal était alors mal entretenu; sur le canal de Bruxelles à Boom, qui ne compte que cinq écluses sur une longueur de 28 kilomètres, ils n'atteignent pas 1,000 fr. par kilomètre. Les frais d'entretien et police sur des portions de réseau de l'Est, livrées depuis cinq ans à l'exploitation, sont de 3,000 fr. par kilomètre. Sur un chemin moins fréquenté et où l'on marcherait à de moins grandes vitesses, ils ne dépasseraient sans doute pas 1,500 fr.

Frais de transport. — Nous comprenons dans les frais de transport ou véhicule proprement dit, sur les canaux et les chemins de fer, les frais de traction, conduite, intérêt du capital, moins-value et entretien des bateaux ou machines et chariots et les frais de chargement et déchargement. Nous n'y faisons pas entrer les droits de parcours, qui doivent représenter les intérêts du capital de la voie et le bénéfice de l'entrepreneur de cette voie. Les frais de véhicule sur les canaux varient entre des limites assez étendues; ils sont plus ou moins grands, suivant que le canal est plus ou moins large, plus ou moins rempli d'eau; que le nombre des écluses est plus ou moins considérable; que la concurrence entre les bateliers est plus ou moins active; que les retours sont plus ou moins assurés; que le taux des salaires est plus ou moins élevé.

Nous avons recueilli des renseignements très-précis sur les frais de transport par la Seine, l'Oise, l'Aisne canalisées, et les canaux entre Paris et Reims.

Le bateau portant 180 tonneaux, les frais de transport, droits non compris, de Paris à Reims, sont de 1,205 fr. 50 c., soit de 2c,35 par tonne et kilomètre, se subdivisant de la manière suivante :

Frais de conduite ou halage proprement dit . . .	0c,70
Mariniers.	0c,35
Usure des cordages.	0c,30
Assurance.	0c,70
Intérêt et amortissement du capital du bateau. . .	0c,30
Total.	2c,35

Les frais d'embarquement ou de débarquement, indépendants de la distance parcourue, sont de 360 fr. par bateau.

Le prix de l'assurance est élevé; il pourrait être réduit à 0c,15 ou 0c,20; la dépense pour usure des cordages pourrait descendre aussi à 0c,20.

Le prix total descendrait alors à 1c,75.

Le retour ayant lieu à vide, il faudrait augmenter ce prix de revient dans une certaine proportion. Le retour ayant lieu avec une certaine charge, mais cette charge étant plus grande ou plus petite que celle à l'aller, il faudrait prendre la moyenne à

lons comparer les frais de transport, sur l'une et sur l'autre voie, de certains articles de commerce, et des marchandises lourdes et de peu de valeur qui font l'objet principal de transport sur les canaux, nous devons en faire abstraction.

Pour établir cette comparaison, supposons d'abord le cas d'un

l'aller et au retour, et, si elle était supérieure ou inférieure à 180 tonneaux il faudrait diminuer ou augmenter le prix de revient ci-dessus, en raison de la différence.

Les droits de pont s'élèvent, sur les rivières, à 19 fr., et ceux de la navigation, sur les canaux, à 191 fr. 55 c. (50 centimes par tonne pour la distance totale sur le canal Saint-Denis, 3 centimes 1/2 par tonne et par kilomètre sur les autres canaux, et 1 fr. 80 c. par tonne et par écluse sur l'Oise canalisée).

De Paris à Strasbourg, le transport par eau s'effectuant en partie sur la Marne ou le canal de l'Ourcq, et en partie sur le canal latéral à la Marne ou sur celui de la Marne au Rhin, à une distance moyenne de 421 kilomètres, la dépense moyenne a été, pour la totalité des transports effectués du 10 mars 1855 au 10 mars 1856, par tonne et par kilomètre, de 3c,60, se subdivisant de la manière suivante :

Frais de traction.	2c,36
Transbordement à Cumières et à Mary.	0c,29
Cordages, agrès, huile et menus frais.	0c,20
Assurances.	0c,10
Avaries.	0c,07
Frais généraux de toutes espèces.	0c,51
Intérêt des capitaux et amortissement.	0c,07
Total.	3c,60

On a eu égard dans ce calcul aux vides provenant de charges incomplètes à l'aller et au retour.

La dépense sur le canal de la Marne au Rhin est moins élevée que 3c,60, moyenne de la navigation sur la rivière et sur le canal.

En général, les frais de transport, tels que nous les avons définis sur des canaux à grande section avec un petit nombre d'écluses, portant des bateaux de la contenance de 180 à 200 tonneaux, en ayant égard aux vides, seront de 1 centime 1/2 à 2 centimes, suivant l'importance du vide; sur des canaux à petite section, ne portant que des bateaux de la contenance de 60 à 100 tonneaux avec un assez grand nombre d'écluses, tel qu'est le canal de Briare et tel que le serait le canal de la Sarre, ils peuvent très-bien s'élever de 3 à 4 centimes.

Sur un chemin de fer à pentes moyennes, si les convois étaient complétement chargés dans les deux sens, on pourrait ne compter que 2 fr. 50 c. par kilomètre parcouru (intérêt et amortissement du matériel compris); et l'on pourrait admettre que les machines remorquent 40 tonnes de poids utile. Les frais de transport immédiats, non compris ceux de chargement et de déchargement, ne monteraient qu'à 0c,025. Le chargement et le déchargement coûtent de 1 à 1 fr. 50 c. par tonne, suivant la nature de la marchandise, quelle que soit la distance; mais les inégalités de charge, plus difficiles à éviter sur un chemin de fer, dont la plupart des convois partent à des heures fixes, que sur un canal, où les bateaux peuvent stationner jusqu'à ce que le chargement soit complet, augmentent considérablement ce prix, en sorte qu'il peut atteindre aisément 2c,5 et même 4 centimes, suivant les circonstances.

M. Siben, ingénieur des ponts et chaussées, dans un mémoire inédit sur les transports, mémoire qu'il a bien voulu nous communiquer, établit de la manière suivante le

chemin de fer et d'un canal destinés à transporter exclusivement, ou à peu près, une seule nature d'objet, la houille par exemple, comme le chemin de fer et le canal de la Sarre que l'on a proposé d'établir pour conduire en Alsace les produits des houillères de Sarrebrück.

Le chemin de fer, dans ce cas, sera à une seule voie ; on pourra admettre des courbes de petit rayon, et, dans le sens du mouvement, certaines pentes fortes, surtout s'il est possible de faire usage de plans automoteurs. Les frais de construction par kilomètre ne dépasseront pas ceux du canal, si même ils ne sont plus faibles.

Les devis portaient pour le chemin de fer de la Sarre la dépense à 200,000 fr. le kilomètre, et, pour le canal, 190,000 fr.

Les frais de transport, sur un canal placé dans les conditions du canal de la Sarre, peuvent être évalués, au minimum, à 3 centimes par kilomètre; ceux du chemin de fer, en admettant que les convois marchent avec charge complète et reviennent à vide, ne seront pas plus élevés.

compte des frais spéciaux du transport d'une tonne à un kilomètre, dans les conditions moyennes d'exploitation sur le chemin de fer du Nord :

Locomotion et entretien du matériel	$0^f,0142$
Intérêt du matériel	$0^f,0065$

Et il ajoute pour :

Renouvellement des fers de la voie	$0^f,0009$
Perception et transports	$0^f,0016$
Total	$0^f,0232$

Soit $2^c,3$.

Et dans la supposition d'un convoi marchant avec charge complète à l'aller et retournant à vide :

Locomotion et entretien du matériel	$0^f,0102$
Intérêt du matériel	$0^f,0034$
Renouvellement des fers de la voie	$0^f,0009$
Perception et transports	$0^f,0016$
Total	$0^f,0161$

Soit $1^c,61$.

Ces calculs ont été faits dans l'hypothèse de machines puissantes telles que la Compagnie du Nord en employait il y a trois ou quatre ans, et qui remorquaient des poids utiles de 300 tonnes; les machines du modèle Engerth, en usage aujourd'hui, sont plus puissantes encore.

Le chiffre de $0^f,0009$, pour le renouvellement des fers de la voie, a été emprunté à l'ouvrage de M. Belpaire, sur les transports en Belgique ; nous pensons que, eu égard au poids des lourdes machines qu'on emploie aujourd'hui et qui fatiguent beaucoup la voie, il est un peu faible.

L'intérêt du capital est sensiblement le même des deux côtés.

Les frais d'entretien par kilomètre seront peu différents. Mais le parcours par le canal sera plus long que par la voie de fer.

Le chemin de fer, en effet, lors même qu'on admet dans son tracé des courbes de petit rayon, ne fait jamais des circuits aussi prononcés que le canal. Ce n'est le plus souvent qu'au moyen de détours multipliés, en se soutenant sur la pente des coteaux, que le canal traverse les pays accidentés. Les souterrains et les remblais, souvent employés dans le tracé des chemins de fer pour abréger la distance, sont, au contraire, rejetés toutes les fois que cela peut se faire dans le tracé des canaux, parce qu'ils exposent à des chances de filtration qu'il est bien difficile d'apprécier d'avance.

Le transport sera donc plus économique par le chemin de fer que par le canal [1].

La dépense fût-elle la même dans l'un et l'autre cas, le chemin de fer n'en conserve pas moins l'avantage sur le canal, par cette raison-là seulement qu'il permet une plus grande régularité et une plus grande rapidité dans le service. Régularité et rapidité qui, moins précieuses sans doute pour le transport de la marchandise que pour celui des voyageurs, ne sont cependant pas sans valeur, même pour le transport de la marchandise. Les chemins de fer ne sont exposés, ni à la suspension du service provenant de la sécheresse, ni à celle occasionnée par la gelée, par le nettoyage du canal ou par toute autre cause. La marche, même avec les machines les plus massives, y est toujours plus rapide que sur les canaux, et l'on peut expédier la marchandise par petites quantités à la fois plus facilement que par les canaux. Le consommateur évite ainsi de faire des approvisionnements qui lui occasionnent toujours une perte d'intérêts plus ou moins grande, et il n'a à craindre, dans aucune saison, ces retards si longs et souvent si fâcheux qui sont inhérents pour ainsi dire aux transports par les voies navigables.

Les conditions offertes par les Compagnies du canal et du chemin de fer de la Sarre, pour l'exécution de l'une ou de l'autre de

[1] Voir, plus loin, le paragraphe relatif au canal de Shuykill en Amérique. Ce canal se trouve établi dans les mêmes conditions que le canal de la Sarre.

ces deux voies, prouvent assez que nos calculs sont plutôt trop favorables au canal qu'au chemin de fer.

Ainsi le péage consenti par l'une et par l'autre Compagnie était le même; mais, lorsque la Compagnie du chemin de fer proposait de le construire sans subvention, la Compagnie du canal demandait :

1° La cession *gratuite* des terrains domaniaux traversés par le canal;

2° Le droit de prendre *gratuitement*, dans le biez de partage du canal de la Marne au Rhin, toutes les eaux nécessaires à son alimentation principale ;

3° Enfin que le tarif de la partie prussienne du canal des houillères, aussi bien que le tarif du canal de la Marne au Rhin, fussent invariablement limités à 1 centime.

Le cas que nous venons d'examiner d'un canal ou d'un chemin de fer ne transportant que des marchandises se présente bien rarement. Il arrive ordinairement que là où le mouvement des marchandises de faible valeur est assez actif pour motiver la construction d'un canal ou d'un chemin de fer, là aussi celui des voyageurs et des marchandises de roulage est considérable.

Les frais de construction du chemin de fer convenant à ce double service, à grande et à petite vitesse, sont sans doute plus élevés que si le chemin ne devait transporter que des marchandises de roulage du genre de celles que transportent les canaux, ou des marchandises à petite vitesse; mais, comme les voyageurs et les marchandises à grande vitesse peuvent supporter une grande partie des frais généraux de l'exploitation et de l'entretien de la voie, les bénéfices que l'on retire de leur transport payent une partie des intérêts du capital. Il s'ensuit que la portion des frais généraux, des frais d'entretien de la voie et des intérêts du capital afférant au service des marchandises se trouve inférieure à ce qu'elle eût été si l'on eût construit et exploité le chemin pour le transport des marchandises seulement. Il arrive même fréquemment, comme le prouvent assez les comptes d'exploitation des chemins du Nord, d'Orléans, de Rouen, de Strasbourg, de Londres à Birmingham, de Londres à Bristol et de beaucoup d'autres, que le bénéfice prove-

nant du service des voyageurs et des marchandises à grande vitesse suffit pour couvrir entièrement les frais d'entretien de la voie, ainsi que ceux d'administration, et pour payer la totalité des intérêts du capital. Les Compagnies peuvent, dans ce cas, transporter les marchandises de peu de valeur à un prix extrêmement modéré, et, pour attirer celles qui leur échapperaient si les tarifs restaient trop élevés, se contenter d un léger bénéfice sur les frais de traction.

Aussi voyons-nous aujourd'hui toutes les grandes lignes de chemins de fer transporter ce genre de marchandises à des prix égaux, si ce n'est inférieurs, à ceux de la navigation : le plâtre, les pierres, les bois, les grains, la houille même, à 3 centimes ou à 3 centimes 1/2 par kilomètre.

Le nombre des chemins qui jouiront des mêmes avantages que ceux que nous venons de citer se multipliera avec l'accroissement de circulation qui a lieu d'année en année sur presque toutes les grandes lignes.

Voici du reste quelle est, à ce sujet, l'opinion d'hommes que l'on ne peut suspecter de partialité à l'égard des chemins de fer; c'est celle des membres d'une commission nommée par le Parlement anglais pour donner son avis sur les associations projetées de plusieurs Compagnies de canaux et de chemins de fer.

« Il ne faut pas perdre de vue, dit le rapporteur, au nom de la commission, que, bien qu'il ait été établi que les canaux habilement administrés peuvent soutenir la concurrence des chemins de fer pour le transport des marchandises encombrantes, jusqu'à présent cette concurrence ne s'est produite pour eux que dans des conditions fort désavantageuses, à cause des grands bénéfices que les chemins de fer retirent du transport des voyageurs ; ces bénéfices permettent en effet à ces derniers de faire un sacrifice sur les marchandises pour dépouiller plus sûrement la navigation. »

Si donc la construction d'un chemin de fer est préférable à celle d'un canal sur une ligne comme celle de la Sarre, où la circulation des voyageurs et des marchandises de roulage est insignifiante, comparée à celle des marchandises encombrantes, à plus forte raison l'est-elle quand au mouvement de cette nature de marchandises vient se joindre celui des voyageurs et des marchandises de valeur.

Et ce n'est pas seulement au point de vue de l'économie qu'il faut considérer la question. Nous avons déjà signalé les avantages de la régularité et d'une certaine rapidité dans les transports, même pour les marchandises d'une faible valeur, comme le charbon de terre. Ces avantages ont une bien plus grande importance encore pour les voyageurs ou pour les marchandises précieuses. On peut même dire que l'immense succès des chemins de fer pour le transport des voyageurs tient surtout à leur extrême rapidité et à la certitude donnée au public de pouvoir partir presque à toute heure de la journée, en obtenant toujours telle place qu'il lui convient de choisir.

La résistance opposée par le liquide au mouvement des bateaux sur une voie navigable, à de très-petites vitesses, est tellement faible, qu'une même force motrice, un cheval, par exemple, traîne, au pas, en exerçant le même effort, une charge trente, quarante et même cinquante fois aussi considérable que sur une route ordinaire. La résistance produite sur un chemin de fer par le frottement est beaucoup plus forte, puisqu'il s'élève à la dixième ou à la huitième partie de celle qui a lieu sur une route ordinaire. Mais, sur le canal, cette résistance croît proportionnellement au carré ou même au cube de la vitesse, selon que la section du canal est plus ou moins grande relativement au plan de *flottaison* du bateau, tandis qu'elle reste sensiblement la même à toutes les vitesses sur le chemin de fer et la route ordinaire. La résistance de l'air n'est appréciable sur un chemin de fer qu'à des vitesses bien supérieures à celles possibles sur les canaux. Il s'ensuit que la vitesse occasionne sur un canal, même en ne dépassant pas celle de 12 à 16 kilomètres par heure, une augmentation de dépense considérable, d'abord à cause de l'augmentation de résistance à laquelle elle correspond, et ensuite parce que le travail utile de l'homme ou du cheval qui hale le bateau diminue rapidement. Elle est également fort coûteuse, par cette seconde raison, sur les routes ordinaires; mais, sur les chemins de fer, on l'obtient, au moyen des machines locomotives, à un prix modéré, avec une régularité que la navigation ne comporte pas.

Malgré le grand nombre de canaux qui sillonnent déjà l'Angle-

terre, on en avait projeté de nouveaux quand l'exploitation des grandes lignes de chemins de fer appela l'attention du public sur ces rivaux de la navigation. On en suspendit l'exécution jusqu'à ce que la pratique eût prononcé sur le mérite des chemins de fer comme moyen de transport des marchandises. Aujourd'hui, sans doute, les enseignements de la pratique, tout incomplets qu'ils soient, paraissent suffisants, puisqu'on a définitivement renoncé aux projets de construction de canaux, et que chaque jour on voit éclore de nouveaux projets de chemins de fer.

En vain allègue-t-on que certains canaux en Angleterre donnent encore des dividendes supérieurs à ceux des chemins de fer concurrents. On a répondu avec raison que ces dividendes seraient beaucoup moins élevés si l'amortissement n'eût déjà réduit considérablement le capital de ces canaux, et s'ils n'eussent d'ailleurs été construits à une époque où la main-d'œuvre était moins chère qu'elle ne l'est aujourd'hui.

S'il en était autrement, et s'il y avait lieu d'espérer de beaux revenus de la construction de nouveaux canaux, les Anglais, auxquels on ne reprochera pas sans doute le défaut de sagacité en industrie, n'auraient pas complétement renoncé aux entreprises nouvelles de canalisation.

De ce que l'ouverture de nouvelles voies de navigation est devenue impossible à la spéculation en Angleterre, il ne faudrait cependant pas en conclure qu'elle l'est également dans les autres pays.

Les canaux déjà existants en Angleterre ne sont pas dans les meilleures conditions possibles pour lutter avec les chemins de fer, et la nécessité de relier les nouveaux canaux au réseau déjà établi forcerait à les construire dans le même système que les anciens.

« Les canaux anglais, dit M. Teisserenc, ne répondent guère à l'idée qu'on peut en concevoir, quand on ne les connaît que par les modèles qu'on croit en trouver dans les canaux construits en France, en Belgique et en Hollande.

« A la place des écluses, dans lesquelles tiennent à l'aise des bateaux longs de 28 à 30 mètres et chargeant de 100 à 150 tonneaux et au delà, de ces doubles chemins de halage qui ont 4 mè-

tres de largeur, de ces banquettes qui couvrent souvent 7 mètres en travers, de ces ponts offrant sous clef et au-dessus du niveau du sol une hauteur de 5 1/2 à 6 mètres, de ces tracés avec beaux alignements droits et aux courbures modérées de 180 à 200 mètres de rayon au moins, qui se rencontrent sur les canaux français nouvellement construits, on ne trouve la plupart du temps, en Angleterre, que des sillons étroits, sinueux, tournant et retournant à angle droit, formant la cuvette du canal, une seule banquette de halage qui n'a pas toujours 2 mètres de large, des ponts qui offrent tout juste un passage au batelet jaugeant de 30 à 40 tonneaux. »

Il est vrai, d'un autre côté, que la navigation des canaux anglais n'est pas entravée par le mauvais état des fleuves qui lui servent d'aboutissants, par la longueur des chômages, des temps d'arrêt résultant des sécheresses prolongées ou des glaces, puisque, secondées par l'égalité et l'humidité générale du climat, les Compagnies ont pu s'affranchir entièrement de ces entraves au moyen de vastes réservoirs, de pompes à vapeur, etc.....

Mais il s'en faut que ces avantages puissent compenser les graves inconvénients qui résultent, pour l'exploitation des canaux, de la petitesse des écluses et de leur peu de largeur.

L'exiguïté de la charge que portent les bateaux et l'augmentation de résistance à laquelle donnent lieu les dimensions du canal exercent sur les frais de halage une influence très-fâcheuse.

En France, la lutte s'est engagée entre les deux voies rivales sur un trop petit nombre de points, et depuis trop peu de temps, pour que l'on puisse en déduire des conséquences générales. Elle n'a eu lieu sérieusement jusqu'à ce jour que sur les parcours suivants : de Rive-de-Gier à Givors, où il existait en même temps un canal et un chemin de fer exploités l'un et l'autre par des Compagnies ; de Paris à Lille et Valenciennes, où le chemin du Nord est en concurrence avec une ligne composée en partie de canaux et en partie de rivières navigables, de Paris à Strasbourg, de Strasbourg à Mulhouse, de Paris à Lyon, et de Paris à Orléans[1].

[1] Nous n'entendons parler ici que de la lutte entre les chemins de fer et les voies navigables *artificielles ;* nous parlerons plus loin de celle qui peut avoir lieu entre le chemins de fer et les voies de navigation *naturelles.*

De Rive-de-Gier à Givors, les administrateurs du canal, après avoir essayé pendant quelques années de soutenir la concurrence du chemin de fer, ont fini par avouer leur impuissance dans les termes suivants :

« Il n'y a pas de milieu, ont-ils dit : il faut avoir avec le chemin de fer ou la paix ou une guerre acharnée. Vous avez avec raison préféré le premier parti ; car, il faut bien le dire, nous ne sommes pas en position de prendre le second. Que nous conseille-t-on ? De rompre tout pacte avec notre associé, de baisser notre tarif, parce que nos frais sont comparativement très-minimes et que lui ne peut abaisser le sien ; d'établir un vaste dépôt à Lyon ; de faire construire le nombre de remorqueurs nécessaires pour les besoins du service ; d'enlever ainsi tous les transports de Rive-de-Gier au chemin de fer. *Tout cela*, messieurs, *est facile sur le papier; mais, dans l'exécution, c'est une autre affaire.*

« Au temps où nous vivons, avec le système qu'a créé la marche progressive de l'industrie, on veut beaucoup faire et surtout aller vite ; ce système s'accorde mal avec le mouvement lent et paisible d'un canal. »

La défaite du canal de Givors est d'autant plus remarquable, que le chemin de fer concurrent, construit à une époque où l'on manquait encore d'expérience, n'a pas été établi dans des conditions très-favorables pour les transports. Les rails, trop légers, n'ont pas permis d'employer les puissantes machines en usage aujourd'hui ; l'entrevoie, trop étroite, est devenue un obstacle insurmontable à l'élargissement des machines et des waggons ; la pente, enfin, sur une partie du parcours du moins, assez convenable pour la descente des waggons pleins, est beaucoup trop forte pour se prêter avantageusement au retour des convois vides[1].

La lutte entre les canaux du Nord et le chemin de fer est très-vive. Le chemin de fer a gagné du terrain sur le canal, puisque, d'après les curieux documents publiés par M. Minard, le tonnage de 1850 à 1855 y a augmenté bien plus rapidement que

[1] On exécute en ce moment de grands travaux dans le but de changer cet état de choses sous l'empire duquel la lutte a eu lieu entre le canal et le chemin de fer

sur les canaux [1]; mais la navigation n'en a pas moins conservé une partie considérable des transports. Cela tient à ce que les canaux ou rivières qui forment la ligne navigable dans cette partie de la France comme en Belgique se trouvent dans des conditions exceptionnelles pour effectuer les transports à bas prix. Non-seulement ils admettent les bateaux du plus fort tonnage, mais encore ils longent les mines de charbon ou s'approchent des grandes usines, de telle façon que le chargement s'opère immédiatement dans les bateaux ; tandis que, pour accéder au chemin de fer du Nord, il faut construire des embranchements en grand nombre. La faible distance des mines à Paris rend d'ailleurs la durée du parcours par la voie navigable moins sensible qu'elle le serait sur un parcours considérable, comme, par exemple, celui de Mulhouse à Paris.

Il convient d'ajouter que les voies navigables entre Paris et Strasbourg sont assez imparfaites. La navigation sur la Marne est difficile à tel point, que, pour l'éviter, certaines marchandises, dont le transport doit se faire dans de courts délais, prennent le chemin de fer jusqu'à Châlons, où elles sont transbordées sur les bateaux du canal latéral à la Marne, pour ensuite continuer leur route par le canal de la Marne au Rhin ; d'autres marchandises suivent les canaux jusqu'à Mary, où elles les abandonnent pour la Marne, sur laquelle on les transporte jusqu'à Dizy, puis entrent dans le canal latéral à la Marne ; ce ne sont que les marchandises les moins précieuses et les plus encombrantes qui naviguent sur la Marne de Paris jusqu'à Châlons.

Mais, si la navigation entre Paris et Strasbourg ne se trouve pas dans des conditions favorables pour lutter contre le chemin de fer, d'un autre côté, le gouvernement, propriétaire du canal de la Marne au Rhin, n'a perçu jusqu'à présent aucun tarif pour se couvrir de l'intérêt du capital de la construction ainsi que des frais d'entretien, administration et perception [2].

Le chemin de Paris à Strasbourg est en concurrence avec la na-

[1] Le tonnage, d'après le tableau de M. Minard, rapporté à la distance entière, était, en 1850, de Paris à la frontière belge, de 240,000 tonnes, en moyenne, sur le chemin de fer, et de 956,000 tonnes sur les rivières et canaux. En 1855, il était devenu, sur le chemin de fer, de 850,000 tonnes, et, sur les voies navigables, de 1,124,000 tonnes.

[2] Bientôt le canal de l'Aisne à la Marne sera livré au public, et alors les marchandises

vigation de Paris à Strasbourg. Nous avons pu nous rendre compte de l'effet de cette concurrence sur cette ligne mieux que sur toute autre, et nous avons trouvé qu'elle n'avait jusqu'à ce jour causé qu'un faible préjudice au chemin de fer.

En effet, la totalité des transports de marchandises, tant en parcours total qu'en parcours partiel, n'a pas, en 1856, dépassé 50,000 tonnes pour la navigation, tandis que les mêmes transports par le chemin de fer ont été de 1,654,000 tonnes.

Le produit en argent de ces transports a été, pour la voie navigable, de 1 million, et, pour le chemin de fer, de plus de 22 millions ; 25 pour 100 environ du trafic de la voie navigable consistent en transports de bois de construction, bois à brûler, et 25 pour 100 en grains et farines, 12 1/2 pour 100 en produits métallurgiques, le reste en charbon de terre et marchandises diverses. Le transport des charbons doit s'élever à environ 50,000 tonnes, qui représentent la quantité de houille de Saarbruck transportée par le chemin de fer de Saarbruck à Frouard et transbordée à Frouard du chemin sur la voie navigable.

De Strasbourg à Mulhouse, le chemin de fer est en concurrence avec le canal du Rhône au Rhin, et ici le canal n'est plus, comme le chemin de fer, dans les mains d'une compagnie. Il peut se ruiner sans que personne s'en plaigne, puisque le Trésor comble le déficit. Aussi en a-t-on abaissé les tarifs au point de les rendre insuffisants pour couvrir même les frais d'entretien, d'administration et de perception. Le chemin de fer, cependant, bien qu'il n'ait pas la ressource d'un mouvement très-actif de voyageurs pour subvenir à ses frais fixes, est parvenu à enlever, tout en accroissant ses revenus, les deux tiers des marchandises que transportait le canal. Que sera-ce lorsque le chemin de fer se prolongera au delà de Mulhouse dans la direction de Lyon ? Les transports sur le canal deviendront probablement alors presque insignifiants.

pourront suivre, entre Paris et Strasbourg, sur les voies navigables, l'itinéraire suivant : la Seine jusqu'à l'embouchure de l'Oise, l'Oise jusqu'à l'Aisne, l'Aisne jusqu'au canal latéral à l'Aisne, puis le canal latéral à l'Aisne, le canal latéral de l'Aisne à la Marne, le canal latéral à la Marne, et enfin le canal de la Marne au Rhin. Cette voie présentera l'inconvénient d'un long parcours et de la nécessité de payer des droits de navigation sur une partie de ce parcours. Elle vaudra mieux cependant que la voie actuelle.

De Paris à Lyon, le trajet par eau se fait d'abord sur la Seine, et puis sur l'Yonne, le canal de Bourgogne et la Saône. On change plusieurs fois de bateaux. Une partie du chemin de fer ayant été livrée à la circulation de 1848 à 1851, dit le rédacteur des documents statistiques publiés par le gouvernement, le tonnage de la voie navigable, qui était, en 1847, de 202,688 tonnes, descend, en 1850, à 179,152 tonnes. Plus tard, de nouvelles sections du chemin de fer étant exploitées, le tonnage continue à diminuer. En 1852, année qui a suivi l'ouverture du chemin de Châlons jusqu'à Paris, il n'est plus que de 125,838 tonnes, et, en 1853, de 80,000 tonnes. En 1854, le tonnage s'est relevé à 153,000 tonnes. Mais, à cette année, correspond une diminution notable dans les droits de navigation. Aussi, sur cette ligne, l'abaissement des tarifs n'a pu réussir à rendre, jusqu'en 1855, au canal ce que lui avait enlevé la concurrence du chemin de fer. Entre la Roche et Dijon, la distance est de 160 kilomètres par le chemin de fer et de 215 kilomètres par le canal de Bourgogne; cette différence donne à la voie de fer un avantage réel.

De Paris à Orléans, le trajet étant par le chemin de fer de 122 kilomètres, celui par les voies navigables (la Seine, les canaux du Loing et d'Orléans) est de 218 kilomètres. Les canaux ont beaucoup souffert de la concurrence du chemin de fer, qui les a forcés à réduire leur tarif de 40 pour 100; leur tonnage toutefois, malgré la longueur du parcours et l'exiguïté des charges portées par les bateaux, a peu varié. Mais ce tonnage, comparé à celui du chemin de fer, est très-faible; car, si l'on fait abstraction des marchandises trop éloignées du chemin de fer pour qu'elles puissent s'en servir avec avantage, on trouve qu'en 1855 le tonnage du chemin de fer entre Paris et Orléans [1] étant de 735,000 tonnes, celui des voies navigables, représenté par celui du canal d'Orléans, n'a été que de 75,000 tonnes.

De Tours à Vierzon, les transports peuvent s'opérer de deux manières, soit sur le Cher canalisé, soit par le chemin de fer. Le trajet par le chemin de fer est d'environ 200 kilomètres, tandis que

[1] Une grande partie de ce trafic (57,000 tonnes environ) provient des localités au delà d'Orléans.

celui par les voies navigables n'est que de 140. Le chemin de fer cependant est parvenu à enlever à la voie navigable une partie des marchandises qu'elle transportait. Il est vrai que le canal, étant à petite section, porte des bateaux qui ne chargent pas au delà de 45 à 50 tonnes.

Après avoir cherché à nous rendre compte de l'influence que la concurrence des voies navigables et des chemins de fer a pu exercer sur le transport des marchandises dans certains cas particuliers en France, il est bon de rechercher l'effet produit généralement dans le pays par cette concurrence.

Si l'on se réfère, dit le rédacteur de l'enquête, aux recherches faites par M. Minard, inspecteur général des ponts et chaussées, pour apprécier quel a été le mouvement des marchandises sur les voies navigables en 1850 et en 1853, on peut faire les rapprochements qui suivent entre ce mouvement et celui qui a eu lieu sur les chemins de fer.

Le nombre de tonnes ramené au parcours total a été :

En 1850, de 132,500 tonnes sur les chemins de fer et de 130,000 tonnes sur les voies navigables : rapport, 98 pour 100.

En 1853, de 204,394 tonnes sur les chemins de fer et de 130,000 tonnes sur les voies navigables : rapport, 80 pour 100.

En 1854, de 262,922 tonnes sur les chemins de fer.

En résumé, la circulation kilométrique des marchandises sur les voies navigables est de beaucoup inférieure à celle qui a lieu sur les chemins de fer, et l'écart entre les chiffres qui la représentent augmente chaque année, bien que, des deux côtés, la masse des transports augmente.

Lorsque les deux voies rivales mettent en communication les mêmes régions de provenance et de destination, les faits que nous venons d'exposer peuvent donner une idée de la répartition des transports, répartition que bien des circonstances peuvent modifier, et plus particulièrement les tarifs, la nature des marchandises transportées, l'intérêt plus ou moins grand qui s'attache à la rapidité des voyages, etc., etc.

Quelle que soit la nature des transports, le réseau des chemins de fer présente, sur celui des voies navigables, un avantage marqué

pour les longs parcours, en ce sens que les trajets peuvent toujours s'y effectuer sans rompre charge, tandis que, dans l'état actuel des choses, le réseau des voies navigables peut être assimilé à un réseau de chemins de fer composé de plusieurs sections de largeur de voie différente.

En Belgique, comme en Angleterre, un vaste réseau de voies navigables se trouve en présence d'un réseau non moins complet de chemins de fer ; les canaux, bien différents des canaux anglais, sont dans les conditions les plus favorables pour les transports à bon marché, tandis que les chemins de fer sont imparfaits. Mais, les canaux étant exploités par le gouvernement aussi bien que les chemins de fer, il ne saurait y avoir concurrence réelle entre les deux voies de communication. Le gouvernement n'a aucun intérêt à ce que le chemin de fer absorbe les transports que le canal peut effectuer. Ainsi, lorsque la Compagnie du chemin de fer du Nord en France, pour lutter avec la navigation, réduisait ses tarifs, pour les grosses marchandises, à 3 centimes 1/2, sans droit spécial pour expédition, la direction des chemins de fer belges maintenait les siens à 6 centimes, avec un droit fixe de $0^{f},90$ pour expédition.

Ajoutons que les canaux belges ont été construits anciennement à moins de frais qu'ils ne le seraient aujourd'hui.

Aux États-Unis, comme en Belgique et en Angleterre, les canaux sont égaux en nombre et en développement aux chemins de fer ; mais, si l'on jette un coup d'œil sur la carte des voies de communication de ce pays, on ne tarde pas à reconnaître que les chemins de fer y ont été rarement construits parallèlement aux canaux.

Une ligne importante de railways a cependant été établie de l'est à l'ouest parallèlement au grand canal Érié. Nous espérions trouver dans l'étude des produits de ces deux voies de communication perfectionnées de nouveaux éléments pour la comparaison de leur puissance respective ; mais quel n'a pas été notre désappointement, en ouvrant l'ouvrage de M. Stucklé sur les voies de communication aux États-Unis, d'y lire qu'un acte législatif *interdit au chemin de fer le transport des marchandises pendant le temps de la navigation.*

S'il est un canal, cependant, qui semble pouvoir se passer d'une

pareille protection contre la concurrence d'un chemin de fer, c'est le canal Érié, qui, lorsqu'il aura été amélioré comme on a projeté de le faire, aura 21 mètres de largeur à sa surface, et 2^m,10 de profondeur, les écluses mesurant 33 mètres en longueur et 5^m,40 en largeur.

En Pensylvanie, la lutte s'est engagée pour le transport des houilles entre le Reading-Railway et le canal Schuy-Kill, et, là encore, c'est une victoire de plus des railways sur les canaux que nous avons à enregistrer.

Le canal de Schuy-Kill, dit M. Stucklé, a trouvé un concurrent redoutable dans le Reading-Railway; aussi la Compagnie du canal fait-elle aujourd'hui tous ses efforts pour tenir tête à cette concurrence en augmentant les dimensions de ses travaux et en introduisant l'usage des remorqueurs à vapeur.

M. Stucklé émet, à la vérité, l'opinion que le canal de Schuy-Kill perfectionné finira par écraser la concurrence du chemin de fer; mais il résulte de renseignements que M. Michel Chevalier vient de recevoir d'Amérique, et qu'il a bien voulu nous communiquer, que le chemin de fer a remporté la victoire sur le canal, et encore faut-il observer que le chemin de fer, construit légèrement, ne permet pas l'emploi de machines puissantes.

Le chemin de fer, l'année dernière, a, d'après une lettre du célèbre ingénieur Robinson à M. Michel Chevalier, transporté 2 millions de tonnes environ, lorsque la circulation sur le canal ne dépassait pas 900,000 tonnes.

Le grand nombre d'écluses du canal de Schuy-Kill, sur une longueur de 160 kilomètres, n'a pas permis d'employer avec avantage les remorqueurs à vapeur.

Tous ces résultats avaient été prévus par M. Robinson, que l'on avait traité de fou quand il entreprit de construire un chemin de fer pour lutter avec les voies navigables.

Le chemin de fer, en alimentant de charbon, en toutes saisons, les nombreuses manufactures de Philadelphie, est devenu pour cette ville la source d'un immense accroissement de prospérité. Philadelphie, aujourd'hui, lutte d'importance avec New-York.

Dans l'État de New-Jersey, nous trouvons aussi un canal parallèle

à un railway, de Delaware, sur une partie de son parcours ; et le Raritan, canal parallèle au Camden-Amboy-Railway. Le canal est placé dans des conditions exceptionnellement favorables pour le transport de la marchandise, car il a 23^{m},50 de largeur à la ligne d'eau et porte les bateaux de rivière. Les actionnaires ont jugé prudent, cependant, de s'associer avec ceux du chemin de fer.

La pratique et le raisonnement s'accordent donc pour prouver que, dans l'état actuel de l'industrie, et à moins que la navigation à vapeur sur les canaux ne fasse de nouveaux progrès, les spéculateurs ne sauraient sans imprudence entreprendre l'établissement de nouveaux canaux, et que ce serait de la part du gouvernement faire un mauvais emploi de la fortune publique d'en autoriser l'exécution.

Est-ce à dire qu'il faille combler les canaux déjà établis, et qui sont parallèles à des chemins de fer ? Nullement. Un grand nombre vivent et vivront du produit des transports que continueront de leur confier les grands établissements industriels qui, groupés sur leurs rives, se sont, comme le dit avec justesse M. Teisserenc, associés pour ainsi dire à leur fortune [1].

Quant à ceux moins nombreux qui n'ont pas cette ressource, ils pourront soutenir la concurrence des chemins de fer tant que leurs frais spéciaux ne s'élèveront pas au-dessus des frais correspondants pour les chemins de fer. Car, aujourd'hui que le capital est engagé, l'intérêt de ce capital peut être réduit à sa plus minime fraction avant que les propriétaires soient forcés de renoncer à l'exploitation de ces voies de transport.

Le gouvernement voulût-il, dans l'intérêt du commerce, abaisser les frais de transport sur certaines lignes, il le ferait en payant aux Compagnies de chemins de fer, à titre de subvention, une partie des sommes qu'il consacrerait à l'amélioration des anciennes voies navigables ou à la création de voies nouvelles, avec bien plus d'avantage qu'en exécutant de nouveaux travaux dans le but de faciliter les transports par voies navigables.

Nous n'avons jusqu'à présent étudié les canaux que comme

[1] Les canaux du Nord ont, en 1853, transporté jusqu'à 1,124,000 tonneaux. (Tableau de M. Minard.)

moyens de transport ; nous ne devons pas terminer ce chapitre sans signaler aussi les éminents services que, dans quelques circonstances particulières, ils rendent à d'autres titres.

Souvent une bonne partie des frais de construction des canaux est couverte par la plus-value des marécages qu'ils dessèchent, et où l'on ne pourrait établir des chemins de fer qu'avec un grand surcroît de dépense. La Hollande et nos riches départements de Flandre, sans les canaux, ne seraient que d'infects marais. Les canaux perçoivent, dans certaines localités, principalement dans les pays méridionaux, des droits assez considérables d'irrigation ou de prise d'eau pour les usines. Ainsi, d'après M. Huerne de Pommeuse, en 1794, la partie construite du canal d'Aragon produisait 53,000 fr. de droits de navigation et 525,000 fr. de droits d'irrigation, et fertilisait environ 100,000 de nos hectares de terrain.

Le canal construit par Adam de Craponne, sous François Ier, remarquable par son habile direction, passe sous plusieurs aqueducs, fait tourner les roues de quantité d'usines, et a fertilisé une plaine de 24 lieues carrées que sa stérilité avait fait appeler *Campus lapidus*. L'Italie est sillonnée de canaux d'irrigation auxquels elle doit sa fertilité, mais dont malheureusement une petite partie seulement sont navigables.

On amène encore, au milieu des canaux à pente, de l'eau potable pour les besoins et l'embellissement des villes. Le canal de l'Ourcq, qui doit en fournir 4,000 pouces à la ville de Paris, vend le mètre cube à raison de 50 fr. par an.

Mais n'oublions pas aussi que, dans quelques cas, on a beaucoup de peine à empêcher les canaux construits dans des terrains perméables d'inonder des propriétés voisines. Les filtrations du bassin de la Villette ont causé de grands ravages dans de riches cultures et de beaux établissements. Le canal du Centre, bien que construit par M. Gauthey, l'un des plus habiles ingénieurs du siècle dernier, perdait dans l'origine toute son eau en vingt-quatre heures. Enfin, d'autres fois, les canaux, au lieu d'amener de l'eau à des prairies ou à des usines, les privent du strict nécessaire.

Les canaux sont, comme les grandes rivières, d'excellentes lignes de défense. Leurs talus sont convertis en remparts sur lesquels on

dresse des batteries. Le maréchal Soult, à la tête de trente mille hommes seulement, tint en échec une armée de soixante mille, protégé qu'il était par le canal du Languedoc. Le canal de Saint-Denis, quoique encore sans eau, fut pris pour ligne de défense lors de la bataille de Paris. En Flandre, ces mêmes canaux, qui fertilisent et assainissent le pays, tout en facilitant l'approvisionnement des places de guerre, servent à en inonder les alentours. Les canaux de Moeres, Bergues et Furnes, avant qu'une paix désastreuse nous eût forcés de détruire les beaux ouvrages qui protégeaient la ville de Dunkerque, donnaient, comme le canal royal militaire en Angleterre, et celui de Croydon en Écosse, abri à des bâtiments de 200 à 300 tonneaux. Ces mêmes canaux produisaient des chasses énergiques qui nettoyaient le port et l'ont approfondi de 15 pieds en neuf ans.

Rivières. — *La navigation des rivières, des lacs et de la mer n'étant plus, comme celle des canaux, grevée généralement de l'intérêt d'un capital de construction, est, dans certains cas, plus économique et peut opposer une concurrence redoutable aux chemins de fer.* Aussi voyons-nous la Seine, malgré ses nombreux détours, lutter, pour le transport des marchandises, avec les chemins de Rouen et du Havre[1]. La Saône, entre Châlons et Lyon, partage le tonnage avec le chemin de fer parallèle; mais on ne saurait en conclure que les rivières sont toujours capables de rivaliser avec les chemins de fer. L'avantage, au contraire, appartiendra le plus souvent à ceux ci. Elles sont toutes plus ou moins sinueuses, quelquefois parsemées d'écueils, divagantes, torrentielles ou pauvres d'eau, et elles ne deviennent navigables qu'à l'aide de dépenses considérables. Le Rhin, de Bâle à Strasbourg, est tellement rapide, que toute navigation régulière devient impossible. Le Rhône ne soutient la concurrence du chemin de fer de Lyon à la Méditerranée qu'avec une extrême difficulté. Les bateaux, enfin, qui descendent la Loire au-dessus de Roanne, ne peuvent la remonter et sont dépecés à Roanne; et d'Orléans à Tours même le tonnage du chemin de fer (518,000 tonnes) est bien plus grand que celui de la rivière

[1] Le tonnage du chemin de fer, cependant, d'après le tableau de M. Minard, a, dans ces dernières années, augmenté plus rapidement que celui de la rivière.

(125,000 tonnes). De Tours à Nantes il est à peu près le même sur les deux voies. Les lacs, la mer surtout, présentent les chances d'une navigation souvent longue, irrégulière, et périlleuse.

On a beaucoup agité la question de savoir si les chemins de fer pouvaient être d'une grande utilité en cas de guerre, comme voies stratégiques.

Napoléon a dit que l'art de faire la guerre consistait en grande partie à savoir réunir, à un moment donné, le plus grand nombre de troupes possible sur un même point. Il ne paraît pas douteux que les chemins de fer ne soient appelés à faciliter la solution du problème, et déjà l'expérience a prouvé leur utilité pour le transport des armées.

M. le comte Daru a objecté à l'usage des chemins de fer, comme voies stratégiques, que les armées sont composées non-seulement d'infanterie, mais encore de cavalerie et d'artillerie, et que les chemins de fer se prêteraient difficilement au transport rapide de la cavalerie.

« Le matériel d'un chemin de fer, a-t-il dit, sera généralement insuffisant pour le transport d'un nombre considérable de chevaux. Le débarquement de ces chevaux sera long et difficile. » Nous ne saurions admettre cette objection. Le transport des chevaux peut se faire non-seulement dans les waggons consacrés spécialement à cet usage, mais encore dans la plupart des waggons à marchandises. Nous devons aussi faire remarquer que, nos grandes voies stratégiques étant réunies à Paris par le chemin de ceinture, on pourra toujours, à un moment donné, concentrer sur l'une d'elles tout le matériel des autres. Quant à ce qui est des difficultés que présente l'embarquement des chevaux, il a été prouvé, par des expériences spéciales, qu'elles étaient beaucoup moins grandes qu'on l'avait supposé.

On a prétendu que les chemins de fer seraient bientôt détruits ou coupés par l'ennemi. Ils le seraient sans doute, dans les parties du territoire que l'ennemi occuperait, mais de grandes portions de chemin hors de sa portée serviraient toujours, dans ce cas, à transporter les troupes qu'on lui opposerait.

La guerre d'Orient nous a offert un exemple bien frappant de

l'utilité dont peuvent être, en certaines circonstances, les chemins de fer pour l'attaque autant que pour la défense. Le chemin de Paris à la Méditerranée a transporté la plus grande partie de l'armée française et même une partie de l'armée anglaise. Il a été surtout d'une grande utilité pour le transport du matériel. La Russie, heureusement pour les puissances occidentales, est moins bien partagée que la France sous le rapport des chemins de fer. Un chemin de fer existe entre Saint-Pétersbourg et Moscou[1]; mais, de Moscou, les communications avec le midi de la Russie n'ont lieu que par terre ou par eau. Les transports de troupes par les routes ordinaires, en hiver surtout, sont excessivement difficiles. Avec un chemin de fer, qui se fût trouvé complétement à l'abri des attaques des armées ennemies, le czar aurait pu jeter, presque instantanément, en Crimée, une armée de plusieurs centaines de mille hommes opposant un obstacle insurmontable à la prise de Sébastopol et à l'envahissement du territoire, et rien n'eût été plus facile que l'approvisionnement de cette armée. Félicitons-nous de ce que la Russie n'a pas eu à sa disposition cette arme redoutable, et disons que *les chemins de fer sont un puissant moyen de défense pour le pays qui les possède, plus encore peut-être qu'ils ne sont un moyen d'attaque*[2].

[1] Ce chemin, suivant le *Journal des Travaux publics* de Saint-Pétersbourg, a transporté, pendant la guerre de Crimée, 580,000 soldats.

[2] Nous n'avons parlé que des services importants que pourraient rendre en temps de guerre les grandes lignes de chemins de fer; mais on n'a pas oublié ceux d'un ordre moins élevé qu'a rendus le petit chemin de Balaklava. On étudie aujourd'hui, par ordre de l'Empereur, un nouveau système de chemins portatifs qui seraient d'une grande utilité pour faciliter les mouvements d'une armée en campagne.

CHAPITRE II

HISTORIQUE DES CHEMINS DE FER

Chemins en Angleterre. — Tout le monde sait que l'Angleterre est le berceau des chemins de fer. Ainsi les premiers chemins de fer à petite vitesse ont été établis dans le Northumberland, dans le pays de Galles et dans le Staffordshire pour le service des mines et des usines; et c'est aussi en Angleterre, entre Liverpool et Manchester, qu'on a construit la première ligne pour le transport des voyageurs à grande vitesse. L'exploitation de ce chemin a suffi pour mettre en évidence, au bout de très-peu d'années, tous les avantages d'une locomotion rapide.

En Angleterre, où le public saisit avec une si grande promptitude toute la portée des inventions industrielles, on ne tarda pas à entrevoir l'avenir de ces nouvelles voies appelées à quadrupler la vitesse habituelle des communications. En 1832, deux ans seulement après l'ouverture du chemin de Liverpool à Manchester, on posa la première pierre du chemin de Londres à Birmingham, et déjà, en 1834, M. Peel, chef du ministère anglais, terminait un discours au meeting de Tamvort par ces paroles remarquables : « Hâtons-nous, messieurs, hâtons-nous; il est indispensable d'établir d'un bout à l'autre de ce royaume des communications à la vapeur, si la Grande-Bretagne veut maintenir dans le monde son rang et sa supériorité. »

Au même moment ou peu de temps après, un membre du ministère français, M. Thiers, revenu d'Angleterre après avoir visité le chemin de Liverpool, soutenait à la tribune que les chemins de fer n'étaient bons qu'à servir de jouets aux curieux d'une capitale ou de moyens de transport dans quelques cas exceptionnels seulement. « Il n'y a pas aujourd'hui, disait-il, huit ou dix lieues de chemin





de fer en construction en France, et, pour mon compte, si on venait m'assurer qu'on en fera cinq par année, je me tiendrais pour fort heureux..... Il faut voir la réalité ; c'est que, même en supposant beaucoup de succès aux chemins de fer, le développement ne serait pas ce que l'on avait supposé. — Vous voulez que je propose aux Chambres de vous concéder le chemin de Rouen, nous disait le même ministre un ou deux ans plus tard, je ne le ferai certainement pas ; on me jetterait en bas de la tribune !... »

Tout est bien changé aujourd'hui. Les chemins de fer sont exécutés, ou sur le point de l'être, par nos ingénieurs, en Autriche, en Italie, en Suisse, en Russie et en Espagne.

Bientôt, après le chemin de Liverpool à Manchester, on entreprit celui de Bristol, et l'Angleterre fut en peu d'années sillonnée de chemins de fer, comme on le voit à l'inspection de la carte ci-jointe. On distingue, au milieu de ces lignes qui se croisent dans tous les sens, la grande artère qui s'étend du sud au nord entre Brighton et Édimbourg, en passant par Londres, Birmingham, York et Newcastle. Sur cette ligne mère s'embranche, à l'ouest, l'important chemin de Birmingham à Liverpool, auquel viennent se souder les chemins de Londres à Manchester et de Liverpool à Lancastre. Plusieurs lignes transversales relient la mer du Nord à l'Océan. L'une, dans le nord de l'Angleterre, de Sunderland à Carlisle, passant par Newcastle ; l'autre, traversant les riches contrées du centre, de Hull à Manchester et Liverpool par Leeds ; une troisième enfin, non moins importante, établie entre Douvres et Bristol et passant par Londres et Bath. Un chemin spécial, celui dit *North-Eastern-Railway*, dessert les contrées de l'est. Des groupes spéciaux, de petite longueur, transportent aux grandes lignes ou aux voies navigables les produits des mines de Northumberland, du Staffordshire, du pays de Galles et des Cornouailles.

En Écosse, où la configuration du sol se prête difficilement à l'établissement des chemins de fer, nous ne remarquons qu'une seule ligne importante : celle d'Édimbourg à Glascow, et quelques petits chemins de fer employés pour le service des mines.

L'Irlande, où les mêmes difficultés d'exécution ne se rencontrent pas, n'est cependant pas beaucoup plus riche en chemins de fer.

Aucune pensée d'ensemble n'a présidé en Angleterre à la détermination du tracé des railways; mais l'industrie y est si florissante sur presque tous les points du royaume, et le goût de la spéculation y est si développé, que bientôt il ne s'y trouvera pas une localité de quelque importance qui n'ait son chemin de fer. La longueur des chemins exploités dans ce pays en 1855 était de 13,314 kilomètres, ce qui représente, en n'ayant égard qu'à la valeur d'émission, l'énorme capital de 6 milliards 833 mille francs, et ce capital, si l'on construit tous les chemins projetés et autorisés, atteindra bientôt 9 milliards.

A Georges Stephenson, l'ouvrier mineur, appartient l'honneur d'avoir construit le premier chemin à grande vitesse, non-seulement de l'Angleterre, mais du monde entier, celui de Liverpool à Manchester; à Robert Stephenson celui d'avoir continué l'œuvre de son père, établi une partie des lignes les plus importantes de l'Angleterre et présidé à l'étude d'un grand nombre de lignes dans les cinq parties du monde. D'autres ingénieurs et des capitalistes intelligents doivent aussi être cités comme les pères de l'industrie des chemins de fer en Angleterre. Parmi les ingénieurs, nous nommerons Brunel, Wood, Locke, Walker, etc.; parmi les capitalistes ou industriels étrangers à l'art de l'ingénieur, M. Booth

Les grandes lignes, celle de Londres à Bristol surtout, ont été construites avec luxe; leur tracé et la construction de la voie ainsi que celle de leur matériel ont été calculés de manière à permettre d'effectuer les transports aux plus grandes vitesses connues aujourd'hui. Elles ont été toutes établies par l'industrie particulière. Plus loin nous consacrerons un chapitre à la description de ceux de ces chemins de fer qui nous paraissent les plus dignes de fixer l'attention.

Chemins en Belgique. — Les Belges ont suivi de très-près les Anglais dans l'établissement des chemins de fer. La loi qui décréta la création du grand réseau terminé aujourd'hui fut promulguée en 1834.

Écoutons M. Michel Chevalier mesurant la portée de cette grande œuvre.

« Aussitôt installé, dit-il, le gouvernement de ce pays sentit que pour s'assurer l'avenir il devait marquer de son sceau le territoire

belge par de grandes entreprises en harmonie avec l'esprit du siècle. En même temps qu'il rattachait à lui toutes les anciennes influences, qu'il ralliait à sa cause les antiques éléments d'ordre et qu'il consolidait la paix intérieure, condition première du bien-être de l'immense majorité, il se lança résolûment, mais avec sagesse et sang-froid, dans les innovations que recommandait une politique non moins conservatrice que progressive. Les chemins de fer étaient déjà en honneur, il crut que par eux il pouvait conquérir une solide popularité et qu'il parviendrait à créer à la Belgique un irrécusable titre d'admission parmi les États européens.

« Toutes ces espérances du gouvernement belge se sont réalisées et au delà. Grâce à cette démonstration de puissance (nous insistons sur le mot, car la force qui enfante des œuvres fécondes est de la puissance tout aussi bien que celle qui couvre de cadavres les champs de bataille), grâce à cet acte décisif, la Belgique, complétement affermie au dedans, a gagné au dehors l'admiration, sinon l'amitié de ses plus hautains ennemis; grâce à ses ministres, en 1834, elle a devancé dans l'œuvre des chemins de fer les grandes monarchies européennes. Elle doit à cette œuvre sa prospérité, elle lui est redevable de sa nationalité elle-même. »

La Belgique doit ses chemins de fer surtout à MM. Rogier, Lebeau et Nothomb, ministres des travaux publics de Belgique, MM. Simons et de Ridder, leurs dignes auxiliaires, et à M. Masui, directeur général de l'exploitation.

Deux lignes principales, sur lesquelles s'embranchent un grand nombre de tronçons secondaires, la traversent de l'est à l'ouest et du nord au sud. La ligne transversale d'Ostende à Verviers prolongée jusqu'à Cologne assure le commerce de la Belgique avec l'Angleterre et l'Allemagne. Celle qui s'étend du nord au sud, d'Anvers à Mons, et qui se prolonge jusqu'à Paris, relie la Belgique à la France et à la Hollande.

Les chemins belges et leur matériel ont été conçus dans un tout autre esprit que les chemins anglais. Ils n'admettent pas la même vitesse. Aujourd'hui, certainement, ils suffisent aux besoins du commerce en Belgique; mais il est à craindre pour ce pays que, dans quelques années, ils deviennent, si la construction n'en est pas

améliorée, incapables de soutenir la concurrence des chemins français construits sur le modèle des chemins anglais.

L'étendue du réseau belge, exploité à la fin de 1856, était de 1,430 kilomètres, dont 710 kilomètres par l'État, et 720 kilomètres par des compagnies. On distingue parmi ces derniers le chemin des Flandres occidentales, ceux de Namur à Liége, de Bruxelles à Luxembourg par Namur, d'Anvers à Gand et d'Anvers à Rotterdam.

La longueur des chemins concédés et non encore exploités est de 377 kilomètres.

Chemins en France. — On se servait depuis bien des années des chemins de fer aux abords ou dans l'intérieur des mines d'Angleterre, qu'à peine les connaissions-nous en France.

De 1820 à 1830, l'industrie des chemins de fer fit un grand pas en Angleterre : on établit dans le nord plusieurs lignes d'une longueur considérable dans le but d'ouvrir des débouchés au commerce des charbons. Vers la même époque, en 1823, M. Beaunier obtenait l'autorisation de construire, pour le transport des charbons de terre, le chemin de Saint-Étienne à Andrezieux ; MM. Séguin, un peu plus tard, celle d'exécuter le chemin de Saint-Étienne à Lyon, et MM. Mellet et Henry, la permission de relier Saint-Étienne à Roanne par une voie ferrée. Mais, si alors la France marcha un moment sur les traces de l'Angleterre, elle s'arrêta bientôt dans cet élan, et, plus occupée de ses dissensions politiques que du soin de conserver sa position industrielle, elle hésita longtemps avant de procéder franchement et hardiment à la création de ces grandes lignes dont l'immense utilité pour l'avenir du pays est maintenant passée à l'état d'axiome.

Ce fut en 1842 seulement que le gouvernement fit adopter par les Chambres une loi qui, malgré ses imperfections, est devenue pour la France l'origine d'une nouvelle ère sociale. Les Chambres, la France entière, comprirent enfin la nécessité de procéder, sans plus attendre, à l'établissement des grandes voies métalliques. Le projet de toutes les grandes lignes ayant été, pour ainsi dire, enfanté en un seul jour, on en a retiré du moins cet avantage qu'elles ont été tracées dans des idées d'ensemble qui n'ont pas présidé à la conception des chemins de fer anglais et allemands.

Maestricht
Cologne
Aix
Liège
Namur
Coblentz
Wiesbaden
Francfort
Hanau
Giessen
Bastogne
Mayence
Luxembourg
Trèves
Manheim
Heidelberg
Metz
Thionville
Sedan
Chalons
Bar-le-Duc
Nancy
Carlsruhe
Stuttgard
Strasbourg
Wissembourg
Haguenau
Saverne
Sarrebourg
Baden
Troyes
Chaumont
Epinal
Colmar
Mulhouse
Winterthur
Bâle
Zurich
Vesoul
Belfort
Altkirch
Montbéliard
Soleure
Dijon
Gray
Auxonne
Besançon
Baume les Dames
Neufchatel
Lucerne
Berne
Thun
Dôle
Chalon
Lons-le-Saulnier
Yverdun
Lausanne
Vevey
Sion
Macon
Bourg
Genève
St. Maurice
Roanne
Trévoux
Ambérieux
Belley
Lyon
Vienne
Chambéry
Modane
Suze
TURIN
Grenoble
Alexandrie
Valence
Privas
Gap
Gênes
Digne
Orange
Avignon
Nîmes
Arles
Tarascon
Draguignan
Marseille
Toulon
Aix
Le Puy
SUISSE
PIÉMONT
ALLEMAGNE
MER MÉDITERRANÉE

Les forces isolées de l'État ou de l'industrie eussent été insuffisantes pour une œuvre aussi grande. Aussi ont-elles été appelées à concourir à son exécution. Ralenties en 1847 dans leur marche par une crise financière, et en 1848 par la Révolution de février, les Compagnies de chemins de fer n'en sont pas moins parvenues à accomplir leur tâche.

Les hommes qui ont combattu avec énergie la déplorable opposition faite pendant dix ans par l'administration supérieure à l'établissement des chemins de fer en France méritent d'être nommés. Comme ingénieurs civils, il faut placer en première ligne les frères Séguin, constructeurs de notre premier chemin d'une certaine importance, et plus particulièrement Marc Séguin, inventeur de la chaudière tubulaire; Mellet et Henry, auteurs d'un grand nombre de projets que d'autres plus heureux ont exécutés; Stéphane Mony, l'un des ingénieurs du chemin de Saint-Germain, et son frère, Eugène Flachat; le major Poussin, ingénieur du chemin de Montpellier à Cette, et Claude Arnoux, l'ingénieux inventeur et l'infatigable défenseur d'un nouveau système de véhicules qui a obtenu l'approbation d'un grand nombre d'hommes éclairés. Parmi les ingénieurs des ponts et chaussées, Brisson, dont le concours a été si utile à MM. Séguin; Paulin-Talabot et Didion, créateurs des premiers chemins de fer dans le midi de la France. Parmi les ingénieurs des mines, Beaunier, Lamé et Clapeyron, collaborateurs de Stéphane Mony et d'Eugène Flachat; Fournel, auteur du projet du chemin de Blesme à Gray; Léon Coste, qui n'a pas assez vécu pour voir l'accomplissement de la grande œuvre dont il avait si bien démontré l'utilité, et feu Bineau, ancien ministre des finances, qui fut l'ingénieur de la première Compagnie de Rouen, et qui a publié un ouvrage remarquable sur les chemins d'Angleterre. Parmi les industriels ou capitalistes, le directeur du chemin de Saint-Germain, Émile Pereire, qui a fourni depuis lors une si brillante carrière; James de Rothschild, le puissant banquier; François Bartholony, le président de la Compagnie d'Orléans; Laffitte, Blount, de Lespée et Benoist d'Azy, fondateurs de la Compagnie du chemin de Rouen. Parmi les publicistes enfin, Michel Chevalier, qui a écrit tant de pages éloquentes sur les chemins de fer, et qui

en a si bien deviné l'avenir ; Jacob Blum, qui, tout en construisant le chemin d'Épinac, indiquait déjà la direction des grandes lignes qui depuis ont été construites et annonçait leur succès ; G. de Pambourg, auteur d'un traité et d'expériences nombreuses sur les locomotives ; Minard, le comte Daru, Teisserenc, Jules Burat, feu l'ingénieur Cordier, ancien député du Jura, et Adolphe Blaise, l'habile rédacteur du *Journal des Chemins de fer*.

Converti enfin aux chemins de fer, le corps des ponts et chaussées a pris sa large part en France dans leur établissement à l'aide de ses ingénieurs, parmi lesquels nous placerons en première ligne, à la suite de ceux déjà nommés, MM. Jullien, Vallée, Desfontaines, Bazaine, Chaperon, Payen, Onfroy de Breville, Busche, Baude, Schvilgué, Mary, de Sermet, Marinet, Guibal, Jacquiné, Collignon, Thirion, Job, Zeiller et Surrell.

Un seul ingénieur civil français a pu, en présence de la concurrence formidable des ingénieurs de l'État, obtenir la direction des travaux de construction d'une de nos grandes lignes. Cet ingénieur, c'est M. Vuigner, ingénieur en chef de la compagnie de l'Est, qui vient d'établir la ligne de Mulhouse avec ses dépendances, et dont nous avons pu, mieux que personne, apprécier le rare mérite.

Si l'on jette un coup d'œil sur la carte des chemins exploités ou en construction, on est tout d'abord frappé de la haute importance des deux grandes voies ferrées qui partagent la France en deux parties : la première, dans sa longueur, du Havre à Marseille, en passant par Rouen, Paris et Lyon ; la seconde, dans sa largeur, de Brest à Strasbourg, par Rennes, Paris et Nancy, aussi utiles l'une et l'autre au point de vue de la civilisation et de la stratégie que sous le rapport commercial.

A Paris viennent aussi converger le chemin du Nord, qui, en se soudant à la grande voie du Havre à Marseille, forme le lien entre la mer du Nord et la Méditerranée ; le chemin de Paris à Nantes par Orléans, qui, se reliant au chemin de Brest à Strasbourg occupe une première place parmi nos voies de communication de l'est à l'ouest ; enfin, celui de Paris à Bordeaux et Bayonne, également par Orléans.

Nous aurons encore, d'ici à peu d'années, le chemin de Paris à Toulouse, qui partagera, avec celui de Paris à Marseille, le trafic

du nord avec le midi, les chemins de Bordeaux à Genève par Lyon, de Paris à Mulhouse, de Dijon à Mulhouse et de Blesme à Gray.

Le chemin de Bordeaux à Cette vient d'être livré à la circulation (avril 1856).

Ainsi, dans ce système, tous nos ports de mer du premier ordre, toutes nos grandes villes, Dunkerque, Boulogne, le Havre, Cherbourg, Brest, Nantes, Bordeaux, Cette, Marseille, Toulon, Lyon. Rouen, Orléans, Strasbourg, seront desservis par des chemins de fer aboutissant à la capitale. Nos contrées les plus fertiles seront réunies aux marchés qu'elles approvisionnent, nos manufactures aux lieux de consommation de leurs produits. Nos relations internationales aussi seront garanties; il n'est pas un pays voisin dont nos locomotives n'iront toucher la frontière.

On remarquera enfin que l'exploitation de nos bassins houillers les plus riches, ceux de Saint-Étienne, Alais, Anzin, Épinac, est déjà assurée par la construction de voies de fer qui se réunissent aux grandes lignes.

En 1834, il n'existait en France que 266 kilomètres de chemins de fer, et encore ces chemins étaient-ils plutôt consacrés au service des marchandises qu'à celui des voyageurs. En 1840, ce nombre s'était élevé à 440 kilomètres. A la fin de 1855, la longueur développée des chemins de fer construits était de 5,048 kilomètres, et celle des chemins concédés de 5,434 kilomètres. A la fin de 1856, la longueur des chemins construits a atteint 6,186 kilomètres, et celle des chemins concédés 11,809 kilomètres. La France possédera donc dans quelques années un magnifique réseau de 17,995 kilomètres de longueur développée au moins. Les chemins de fer construits représentent un capital de près de trois milliards, et ceux qui ont été concédés et qui ne sont pas encore construits un capital à peu près égal. Ce capital, calculé sur le taux d'émission des actions, s'est déjà considérablement accru, et chaque jour sa valeur tend à augmenter. Quelle source de richesse pour le pays! En Angleterre, les chemins de fer ont aidé à développer un mouvement commercial très-actif. En France, ils ont, dans plusieurs directions, créé ce mouvement à peine existant. D'après les calculs des statisticiens les plus habiles, les produits annuels du chemin de Stras-

bourg ne devaient pas dépasser 16 millions. Ces produits, dès la première année d'exploitation (1853), ont été de 24 millions; la seconde année, ils ont dépassé 30 millions; la troisième, ils ont atteint 39 millions, et la quatrième 40 millions. Les actions du chemin d'Orléans ont quadruplé leur valeur d'émission, celles du Nord et de Rouen l'ont plus que doublée.

La plupart de nos grandes industries ont éprouvé la bienfaisante influence de la création des chemins de fer. L'industrie minière est devenue tellement florissante, qu'elle est arrêtée dans ses développements par le défaut de bras; l'industrie métallurgique s'est trouvée un moment incapable de fournir aux besoins des grandes Compagnies; les manufactures ont généralement profité de la réduction considérable que les chemins de fer ont opérée dans le prix des transports; l'agriculture a pu, grâce aux chemins de fer, écouler ses produits sur des marchés qu'elle n'avait pu aborder jusqu'alors, et elle a réalisé de grandes améliorations en faisant usage d'engrais, tels que le plâtre, le guano, etc., que les chemins de fer lui fournissent à bas prix, et en généralisant l'emploi des tuyaux de drainage, pour le transport desquels les Compagnies ont abaissé leurs tarifs à leurs dernières limites.

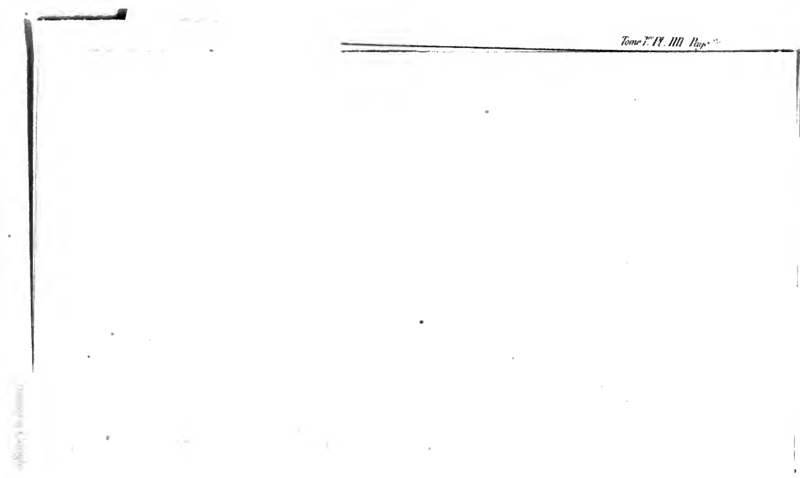
Les chemins de fer, par la création d'un immense personnel façonné à des habitudes d'ordre et de discipline, ont encore exercé sur nos mœurs une action qui n'a peut-être pas été suffisamment appréciée.

D'autres ont dit mieux que nous ne saurions le faire leur influence sur nos relations intérieures et extérieures[1].

Le gouvernement impérial a donné une vive impulsion à l'établissement de ces admirables voies de communication; il a compris, mieux qu'aucun des gouvernements qui l'ont précédé, tout le parti que l'on pouvait tirer du concours des grandes Compagnies.

Chemins en Allemagne. — Si les Anglais et les Belges ont précédé les Allemands dans la construction des grandes lignes de chemins de fer, les Allemands, nous regrettons de le dire, ont de-

[1] Voy. les ouvrages de M. Michel Chevalier.


Tome Ier. Pl. IIII Pag.

vancé les Français. C'est ce que prouvent les lignes suivantes, que nous empruntons à un numéro du *Journal de l'Industriel et du Capitaliste*, publié en 1840.

« L'association des douanes prussiennes se consolide et se fortifie par les chemins de fer qui s'établissent dans différents États de l'Allemagne. Il existe en ce moment de l'autre côté du Rhin environ 800 kilomètres de chemins de fer exécutés ou tout près d'être livrés à la circulation. Outre cela, des projets sérieux promettent à l'Allemagne 1,600 kilomètres de chemins de fer d'ici à quelques années. »

A la même époque, la France ne comptait que 440 kilomètres de chemins de fer. L'Angleterre en avait déjà construit 2,400 kilomètres, et les États-Unis 1,200.

Le premier chemin à locomotives établi en Allemagne est celui de Munich à Augsbourg, construit par un ingénieur français, M. Denis, ancien élève de l'École polytechnique, qui jouit en Allemagne d'une réputation bien méritée; le second, celui de Berlin à Postdam. De 1830 à 1840, on a étudié en Allemagne un grand nombre de lignes importantes et on en a commencé quelques-unes; mais ce n'est qu'à partir de 1840 que les gouvernements des divers États qui la composent se sont occupés sérieusement de la construction des chemins de fer. Aujourd'hui un vaste réseau s'étend déjà sur tout le pays, et l'activité déployée dans l'exécution répond assez au reproche de lenteur que l'on adresse si souvent à nos voisins d'outre-Rhin.

A l'inspection de la carte, on distingue dans ce réseau :

1° Une grande ligne du nord au midi, entre Stettin et Friedrichshaffen, réunissant la Baltique au lac de Constance, en passant par Berlin, Leipzig, Nuremberg et Augsbourg.

2° Une ligne de Kiel à Trieste, servant de lien entre la Baltique et l'Adriatique, en passant par Hambourg, Berlin, Dresde, Prague, Vienne.

3° Une ligne de l'ouest à l'est, entre Aix-la-Chapelle et Berlin, sur laquelle se soudent, à Berlin, une branche qui se termine à Kœnigsberg, après avoir traversé la Vistule à Dirshau, et une autre branche qui, passant par Breslau, s'étend jusqu'à Cracovie. Cette grande artère, prolongée d'Aix-la-Chapelle jusqu'aux ports belges

d'Anvers et d'Ostende, réunit la mer du Nord à la Baltique, le Rhin à la Vistule.

4° Une seconde ligne transversale, partant de Mayence, passant à Francfort, Cassel, Veimar, Leipzig, Dresde, et aboutissant à Breslau.

5° Une troisième ligne transversale, enfin, dont une partie importante entre Vienne et Munich, reste à construire; ligne qui établira la communication la plus rapide de Strasbourg à Carlsruhe, Stuttgard, Augsbourg, Munich, Vienne, Presbourg et Pesth. Cette dernière ligne ne tardera pas à se prolonger jusqu'à Belgrade, et même probablement jusqu'à Constantinople. Elle réunira le Rhin au Danube, l'Océan à la mer Noire.

6° La ligne de Pest-Ofen à Trieste (partie du chemin François-Joseph), qui, dans quelques années, fournira à la Hongrie, à la Transylvanie, à la Gallicie, et même aux provinces russes du sud-ouest une communication directe et prompte avec l'Adriatique, et assurera un débouché constant aux productions si variées de ces provinces si riches en agriculture et en produits minéraux de toute espèce.

Sur ces grandes lignes viennent s'embrancher une infinité d'autres lignes; en sorte que toutes les grandes villes d'Allemagne sont ou seront réunies prochainement par des voies ferrées.

Les chemins allemands sont pour la plupart à une voie, comme l'ont été longtemps les chemins belges. Ils ont été construits avec des rails légers, économiquement, mais beaucoup plus solidement cependant que les chemins américains.

« Le principe posé aujourd'hui dans toute l'Allemagne, la Bavière rhénane exceptée, est celui-ci, disait M. Couche : construction et exploitation par l'Etat des lignes d'intérêt général; construction par l'industrie privée des lignes d'intérêt local. » L'Autriche a abandonné ce principe en confiant l'exploitation de ses grandes lignes et l'exécution de plusieurs lignes nouvelles à des Compagnies. C'est que, sans doute, le gouvernement autrichien a reconnu que les Compagnies possèdent une puissance industrielle et une habileté pour l'exécution et l'exploitation que l'on ne peut rencontrer dans une administration publique. En effet, l'administration publique, dirigée ordinairement par des hommes fort ca-

pables, mais déjà âgés, n'est pas naturellement progressive; les Compagnies, stimulées par le désir de faire fortune, sont bien plus audacieuses, bien plus intelligentes, quand elles se placent au point de vue commercial et financier. Elles ne jouent d'ailleurs vis-à-vis du gouvernement que le rôle de grands entrepreneurs, et elles ont assez prouvé, en France, combien elles appréciaient le mérite des ingénieurs de l'État en les appelant à diriger leurs travaux; mais elles peuvent leur offrir des avantages qu'ils ne sauraient trouver dans l'accomplissement de leurs fonctions publiques et leur confier surtout des pouvoirs incompatibles avec les formes administratives.

L'Allemagne, à la fin de 1856, comptait 10,832 kilomètres de chemins exploités et un grand nombre en construction. Ces chemins se subdivisaient de la manière suivante entre les différents États :

Empire d'Autriche allemand.	2,064 kilom.
Prusse.	4,165
Bavière.	1,181
Saxe.	585
Wurtemberg.	398
Grand duché de Bade.	398
Autres États d'Allemagne.	2,175

Tous les souverains allemands ont droit à la reconnaissance de leurs sujets pour les encouragements qu'ils ont accordés depuis longtemps aux constructeurs de chemins de fer dans leurs États; mais il faut mentionner surtout l'ancien roi de Bavière, Louis, comme leur ayant donné l'exemple. Le jeune empereur François-Joseph peut être cité aussi comme un des plus ardents promoteurs de l'industrie des chemins de fer en Allemagne.

Nous avons nommé M. Denis comme l'auteur du premier chemin à locomotive construit en Allemagne. Le premier chemin à chevaux avait été établi quelques années auparavant par le chevalier de Gerstner. Parmi les ingénieurs qui ont puissamment contribué à l'établissement des chemins de fer en Allemagne, figurent, à côté de MM. Denis et de Gerstner. M. Carl Etzel, qui a projeté et établi le réseau des chemins de fer wurtembergeois, et qui vient de terminer le chemin central (Suisse); M. Klein, associé à M. Etzel, pour l'exécution de ce réseau, et rédacteur d'un des meilleurs jour-

naux techniques de l'Allemagne; M. Pauli, qui a succédé à M. Denis dans la direction des chemins de fer bavarois et qui a éxécuté plus de mille kilomètres de chemins de fer en Allemagne; M. le capitaine Huntz, qui a construit le chemin de Leipzig à Dresde, ainsi que le chemin saxo-bavarois, et qui a contribué puissamment à l'exécution de plusieurs lignes en Allemagne. M. Melline, directeur des chemins de fer de l'Etat, en Prusse; M. Hentz, le Nestor des ingénieurs prussiens; M. Hartwich, inspecteur principal des chemins de fer prussiens; M. Unruh, qui est également ingénieur prussien; M. Francesconi, qui a été directeur général des chemins de fer de l'Etat en Autriche, et sous les ordres duquel ont travaillé à l'exécution de ces chemins de fer MM. Negrelli et Gheiga.

Parmi les économistes et hommes d'État dont le nom se trouve plus particulièrement attaché à la création des chemins de fer allemands, nous nommerons feu M. Vinter, ministre du grand-duché de Bade, à la mémoire duquel on a élevé une statue près de la gare de Carlsruhe; MM. Kubeck et de Brück, ministres autrichiens; M. Schlein, ministre vurtembergeois, qui a élaboré le projet de loi en vertu duquel le réseau du Vurtemberg a été entrepris; de Pfordten, ministre des travaux publics en Bavière; Von der Heydt, ministre en Prusse; de Dechen, directeur général des mines de Prusse, qui publia, avec M. de Oeinhausen, avant 1830, un important mémoire sur les chemins de fer anglais; le célèbre économiste saxon List; M. de Veber, directeur général des chemins de fer de Saxe; M. Hauchecorne, si connu par ses travaux statistiques; M. Bell, directeur, depuis l'origine, du chemin de fer de Mayence à Francfort.

Chemins aux États-Unis [1]. — Les voies de communication par terre, avant l'établissement des chemins de fer, étaient on ne peut plus mauvaises en Amérique; il ne pouvait en être autrement dans un pays où les distances à parcourir sont si grandes, et où la main-d'œuvre est à un prix si élevé. Traverser le plus souvent d'immenses forêts vierges pour aller d'un pays à un autre n'était pas chose facile; au lieu de routes, on préférait ouvrir des canaux partout où cela était praticable, afin de compléter la navigation inté-

[1] Cet article est extrait en grande partie d'un mémoire rédigé par M. Grenier, ancien élève de l'École centrale, ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est.


Quebec
ORIENTAL
Frederickton
Richmond
Portland
Portsmouth
Boston
Plymouth
Stonington
N. London
New York
Portsmouth
Austin
A T L A N T I Q U E
Traité Elementaire
DES
CHEMINS DE FER
CARTE DES CHEMINS DE FER
DES
ETATS - UNIS



rieure des lacs et des nombreuses rivières, qui offrait déjà d'immenses avantages ; c'est ainsi qu'on a exécuté 8,000 kilomètres de canaux environ.

Le premier railway construit en Amérique, vers 1820, était un petit chemin de 5,000 mètres de longueur, de Boston à Quincy, ayant pour destination le service d'importantes carrières de granit ; plus tard, en 1828, l'ingénieur Wilson commença les travaux du chemin de Philadelphie à Columbia, et, vers la même époque, l'ingénieur J. Knight entreprit celui de Baltimore à l'Ohio. Bientôt après on construisit ceux de Charleston à Augusta, Boston à Worcester, Boston et Providence, etc.; mais ce n'est qu'à partir de 1835 que, sous la direction de MM. Robison, Allen, Trimble, Hoptkins, et d'autres ingénieurs distingués, furent établies la plupart des grandes lignes, opérant en même temps le transport des voyageurs et celui des marchandises.

Les Américains comprirent bien vite combien ces sortes d'entreprises pouvaient être fructueuses et devaient concourir à la prospérité de leur pays, en offrant des débouchés aux divers produits, principalement aux produits agricoles. De nombreuses compagnies se formèrent, et on ouvrit des chemins dans toutes les directions.

C'est surtout pendant les dernières années que les chemins de fer ont acquis un développement considérable.

Au commencement de 1852, la longueur totale des chemins en exploitation était de 17,410 kilomètres ; et celle des chemins en construction de 17,549 kilomètres; à la fin de la même année, la longueur des chemins exploités était de 21,548 kilomètres, et celle des chemins en construction ou projetés de 20,407 kilomètres ; à la fin de 1853, la longueur des chemins de fer exploités avait atteint 28,513 kilomètres ; à la fin de 1854, 31,842 kilomètres, et, à la fin de 1855, 34,513 kilomètres, ce qui est énorme eu égard à la population, qui n'est encore que de 24 millions d'habitants.

Les Etats de l'Union qui possédaient la plus grande étendue des chemins à cette époque étaient l'Etat de New-York, 4,597 kilomètres ; l'Ohio, 4,347 ; l'Illinois, 3,604 ; la Pensylvanie, 2,844;

[1] *Histoire des voies de communication aux États-Unis*, par Michel Chevalier.

l'Indiana, 2,558. La Californie n'avait alors que 100 kilomètres de chemins de fer, et le Texas, que 64.

On peut dire que les chemins de fer contribuent puissamment au défrichement des forêts et à la colonisation. Toute la masse des émigrants qui arrivent en Amérique se porte en ce moment vers les États de l'ouest, dans le voisinage des différentes lignes de fer qui viennent d'être terminées ou qui s'y construisent; aussi les terrains y acquièrent-ils promptement de la valeur.

Au chemin de fer de l'Illinois central, traversant le territoire de l'Illinois dans toute sa longueur, l'État a abandonné à la Compagnie tous les terrains que ce chemin traverse, sur une zone de 9k,50 de chaque côté; la Compagnie réalisera des bénéfices considérables sur la vente de ces terrains, que l'État concède ordinairement aux particuliers à raison de 12 fr. l'hectare. Le voyageur est surpris de voir avec quelle rapidité des villages et des villes se forment sur le parcours de ces nouvelles lignes; l'accroissement de la population est, aux États-Unis, tel, que, d'après les calculs et selon les prévisions, le nombre d'habitants ne serait pas moindre de 100 millions avant la fin du dix-neuvième siècle. Le chiffre des émigrations dépasse aujourd'hui 400,000 par an.

Pour donner en passant une idée de la formation rapide de ces villes américaines, il faut citer Cincinnati, située au bord de l'Ohio, ville qui ne date que de soixante années, et dont la population actuelle est de 100,000 habitants. Dix-sept lignes de chemins de fer la traversent en tous sens.

Le prix d'établissement des chemins de fer a varié dans ce pays entre 70,000 et 200,000 fr. le kilomètre. Le prix moyen de tous les chemins construits en 1852 était, matériel compris, de 108,500 fr. Ceux construits depuis n'ont coûté, en moyenne, que 78,500 fr. environ le kilomètre; c'est que ces derniers, généralement à simple voie, ont presque tous été exécutés dans des terrains très-faciles; plusieurs d'entre eux, dans l'Illinois, ont été établis sur le sol naturel sans qu'on ait eu besoin de faire autre chose que des fossés d'assainissement de chaque côté sans employer de ballast.

Dans le Missouri, on a commencé un grand railway qui devra

être continué jusqu'à l'Océan Pacifique, et mettre ainsi l'Orégon et la Californie en communication immédiate avec New-York. Une portion de ce chemin, à partir de Saint-Louis, est déjà livrée à la circulation; pour sa continuation dans le territoire des Indiens, on se propose de poser d'abord un chemin en bois destiné au transport des matériaux et des ouvriers.

La proportion des chemins à double voie aux chemins à simple voie n'était, aux États-Unis, en 1854, que de 7 pour 100.

Comment le gouvernement des États-Unis a-t-il pu créer le vaste réseau de chemins de fer qui sillonne toutes les parties de cette immense agglomération de territoire, sans surcharger ses budgets, sans contracter de dettes? Cela est bien simple à expliquer et tient à la nature du pays, dit le *Journal des Actionnaires*[1]. Au lieu de subvention pécuniaire, le gouvernement donne aux Compagnies des subventions territoriales. L'ouverture des voies de communication ferrée appelle les populations, provoque le travail, fait naître et développe la production; les terres qui étaient incultes donnent en abondance le riz, le blé, le chanvre, le coton; elles avaient une valeur de 2 dollars à peine (10 fr.); elles se vendent aujourd'hui couramment 12 et 16 dollars (60 et 80 fr.). C'est ainsi que l'État de l'Illinois a pu créer, en très-peu de temps, 690 milles de chemins de fer, et que la Compagnie concessionnaire a pu distribuer à ses actionnaires quatre fois la valeur du capital versé, et leur conserver à perpétuité le privilége de l'exploitation.

Nous ne terminerons pas cet article sur les chemins de fer aux États-Unis, sans dire aussi un mot des *plank-roads*, système de chemins en bois formés de madriers posés à plat sur des longrines, et qui présente aux États-Unis, où le bois abonde, de tels avantages, qu'il ne tardera peut-être pas à remplacer la plus grande partie des voies de communication rurales faites en empierrement.

C'est dans le haut Canada, en 1835, que le plank-road fut employé la première fois à titre d'expérience; on se contenta de poser des planches de 4 mètres sur des traverses, sans aucun principe de construction; l'expérience ayant donné des résultats plus satisfai-

[1] *Journal des Actionnaires* du 3 janvier 1857

sants que l'on ne s'y attendait, tant sous le rapport de la facilité de transport que sous celui du faible prix d'entretien, on construisit, en 1837, la route de Salina à Central Square, sous la direction de M. Geddes et de M. Saint-Alvord, qui ont le plus contribué au développement du système des plank-roads dans le Canada.

Après les troubles de 1838, les routes en bois devinrent, sous la direction de M. Hamilton, président de la chambre des travaux, un des perfectionnements à l'ordre du jour, et elles furent alors importées, avec le plus grand succès, d'abord dans le haut Canada, et ensuite dans le bas Canada.

Mais c'est surtout dans l'État de New-York que ce système a fait le plus de progrès : depuis quatre années seulement que les plank-roads y étaient employés, en 1850, on en comptait dans cet État 3,370 kilomètres; ils ont été exécutés au prix moyen de 6,186 fr. le kilomètre. A la même époque, il n'en existait encore que 700 kilomètres dans le Canada.

Aujourd'hui on construit de ces chemins dans tous les Etats de l'Union.

On peut dire que les chemins en bois en Amérique paraissent destinés à alimenter les chemins de fer et les canaux, et qu'ils ne leur sont pas inférieurs dans leurs usages particuliers.

Les chemins en bois rendent de grands services à la population agricole pour les communications avec les villes; ils offrent au fermier l'avantage d'avoir une route en bon état où il peut se servir de son matériel roulant pour transporter en toute saison les produits de sa ferme au marché voisin, et ils ont aussi avec les chemins de fer, et même à un plus haut degré, une telle influence sur les propriétés, qu'ils les font augmenter considérablement de valeur.

Les chemins en bois ne durent guère au delà de huit années.

Canada. — Le Canada ne possédait, en 1847, qu'un seul chemin de fer de 35 kilomètres environ; en 1855, on y comptait treize lignes sur lesquelles, au mois de juin, 1,270 kilomètres étaient achevés [1].

Hollande. — Un chemin de fer, long de 171 kilomètres,

[1] *Annuaire des Chemins de fer*, de Chaix.

réunit déjà les villes de Rotterdam, la Haye, Leyde, Harlem, Amsterdam et Arnheim. Ce chemin se prolonge au delà de Arnheim jusqu'à Emmerich, et bientôt il atteindra Cologne. La communication entre Rotterdam et Anvers est assurée au moyen d'un service de bateaux à vapeur de Rotterdam au Mardych et d'un chemin de fer du Mardych à Anvers. Le chemin de Maestricht à Aix-la-Chapelle est livré à l'exploitation. Une ligne d'Arnheim à Maestricht, par Nimègue, Grave et Vanloo, formera un nouveau lien du réseau hollandais avec le réseau belge. Une troisième ligne, partant d'Arnheim et se dirigeant vers le nord, atteindra Groningue. Une quatrième enfin, partant de Flessingue, aboutira à la frontière de Prusse par Breda, Bois-le-Duc et Vanloo.

L'histoire des chemins hollandais nous offre un fait unique dans celle des chemins de fer, fait qui honore beaucoup le roi Guillaume Ier... Il s'agissait de protéger autant que possible les intérêts de la ville d'Amsterdam contre la concurrence du port d'Anvers, en unissant la ville hollandaise au Rhin par un chemin de fer. Le projet ayant été présenté aux États généraux, cette assemblée refusa de le sanctionner (février 1838); mais le souverain, qui portait à cette ligne un vif intérêt, s'étant décidé à l'exécuter à ses frais et risques, les travaux commencèrent immédiatement. Cette ligne offre donc cette particularité qu'elle n'appartient ni à une Compagnie ni à l'État : le roi en a été lui-même l'entrepreneur, au moyen d'un emprunt dont il a garanti les intérêts[1].

Russie et Pologne russe. — La Russie, si pauvre encore en chemins de fer, a joui cependant d'un des premiers chemins à locomotives construits en Europe, celui de Saint-Pétersbourg à Tsarkoeselo. C'est M. le chevalier de Gerstner, ingénieur autrichien, auteur du plus ancien chemin de fer construit en Allemagne, celui de Budweis à Linz, qui a rédigé le projet de cette ligne de 27 kilomètres seulement, et qui l'a construite.

L'empereur Nicolas comprit bientôt que le rôle que les chemins de fer étaient appelés à jouer dans un grand empire était bien plus élevé que celui que remplissait le chemin de Tsarkoeselo, et il conçut,

[1] Extrait de l'ouvrage de M. Lobet.

dès 1840, le projet d'un réseau qui devait établir un lien entre les points les plus éloignés de ses possessions européennes, faciliter l'action du pouvoir central, et exercer une puissante influence civilisatrice sur le pays.

Mais les contrées à parcourir étaient pauvres[1] et mal peuplées; les ressources du gouvernement n'étaient pas assez considérables pour suffire à l'œuvre. Il fallait donc offrir à l'intérêt privé des avantages qui assurassent son concours dans l'exécution des travaux. A cet effet, l'empereur, non content de garantir aux actionnaires un intérêt annuel de 4 pour 100 et de leur accorder gratuitement tous les terrains traversés faisant partie de ses domaines, a mis, sans aucune condition, à leur pleine disposition tous les bois et matériaux nécessaires à la construction des railways, tout en accordant la libre importation des rails et des machines locomotives, mesure qui, du reste, était conforme aux dispositions patriotiques des maîtres de forges et des industriels de l'empire.

Entraînés par l'exemple de l'empereur, les seigneurs ont voulu concourir à l'exécution d'une œuvre de laquelle la Russie attend de si grands résultats; non contents de l'abandon gratuit de tous les terrains nécessaires à l'établissement du railway, ils ont mis une grande partie de leurs serfs à la disposition des Compagnies jusqu'à l'entier achèvement des travaux.

Mais il n'était pas donné à Nicolas d'accomplir entièrement la grande œuvre qu'il avait conçue. Le chemin de fer de Saint-Pétersbourg à Moscou, long de 650 kilomètres, et celui de Varsovie à Cracovie, long de 400 kilomètres, ont été les seuls entièrement établis sous son règne. Le chemin de Saint-Pétersbourg à Varsovie a été commencé. C'est à son successeur Alexandre II qu'appartiendra l'honneur de compléter le réseau des chemins russes.

Nous ne doutons pas que, secondé par son ministre des travaux publics, le général Tscheffkine, homme éclairé et laborieux, qui depuis longtemps a fait de l'industrie des chemins en Angleterre, en France et en Allemagne, une étude spéciale, il obtienne un plein succès.

[1] Extrait de l'ouvrage de M. Lobet

Déjà, et nous sommes fier de le dire à l'honneur de la France, rendant hommage à l'habileté de nos ingénieurs et de nos financiers, il a fait appel à leurs lumières, et un traité a été conclu qui, pour l'avenir, deviendra un gage de paix et d'union, meilleur peut-être encore que le traité signé à Paris par les plénipotentiaires de toutes les puissances européennes.

Le réseau définitivement arrêté aura 4,162 kilomètres de longueur développée, et sera composé de la manière suivante : 1° une ligne de Saint-Pétersbourg à Varsovie, longue de 1,249 kilomètres, et exploitée déjà sur 42 kilomètres de longueur, ligne sur laquelle s'embranche, à Wilna, un chemin se dirigeant vers la frontière prussienne et allant rejoindre le réseau prussien à Kœnigsberg, au moyen d'une voie ferrée que le gouvernement prussien doit pousser à sa rencontre jusqu'à Tilsitt ; 2° une ligne de Moscou à Théodosie, en Crimée, sur la mer Noire (1,259 kilomètres) ; une troisième ligne, longue de 427 kilomètres, de Moscou à Nijni-Novogorod, dont la foire célèbre est l'entrepôt de toutes les marchandises de l'Asie ; 3° une troisième ligne s'embranchant sur la précédente à Koursk, chef-lieu d'une province, et centre de l'activité commerciale dans l'intérieur de la Russie, et aboutissant au port de Libau, sur la Baltique, longue de 1,227 kilomètres.

La ligne de Saint-Pétersbourg à Varsovie a sa destination spéciale comme ligne internationale : elle réunit la capitale avec le réseau européen des chemins de fer.

La ligne de Moscou à Théodosie (Kaffa) relie Moscou au meilleur port naturel de la mer Noire, où le commerce trouvera les facilités de l'emplacement qui manquent à Odessa ; elle communique d'ailleurs avec cette ville par le Dniéper maritime et la mer. Elle traverse les terres Noires sur 700 kilomètres ; elle leur offre un débouché facile vers la mer Noire pour les céréales, les graines oléagineuses, les suifs, les lins et chanvres, etc., mais plus important encore vers la Baltique. Elle ramènera vers le Nord le bétail des steppes, les vins de Crimée, les sels de la mer d'Azow, et surtout les houilles du bassin de Donetz, reconnu et exploité déjà jusqu'au voisinage de Kharkov, appelé à jouer un rôle considérable dans l'avenir industriel de la Russie.

La ligne de Koursk ou Orel à Libau est destinée à devenir une des grandes voies pour l'échange des produits du sol entre les différentes parties si inégalement partagées de l'empire ; elle est destinée surtout à porter à la mer Baltique, pour les livrer à l'exportation, les céréales et tous les produits du règne végétal et animal recueillis par la ligne du Sud au centre des terres Noires, et par la ligne de Nijni sur le Volga et ses affluents.

Le port de Libau, plus méridional de 3 degrés et demi que Saint-Pétersbourg, n'est obstrué que pendant trois semaines ou un mois par les glaces, tandis qu'à Saint-Pétersbourg et Riga toute navigation est arrêtée pendant cinq et six mois. Libau, qui est un port sans importance en ce moment, est donc destiné à devenir le centre d'exportation pour les produits de la Russie, et d'importation pour les produits étrangers. Le gouvernement s'est engagé à faire les travaux d'amélioration du port de Libau, pour qu'ils soient achevés quand le chemin de fer sera prêt à être exploité.

Le port de Libau suppléera les ports de Saint-Pétersbourg et de Riga aux époques de la fermeture par les glaces ; en outre, l'exportation, qui se dirige maintenant sur Mémel et Kœnigsberg, viendra y chercher les facilités données au commerce national. Cette double circonstance ajoute donc beaucoup à l'importance de la ligne de Saint-Pétersbourg à Varsovie, qui deviendra en même temps une grande voie commerciale.

La ligne de Moscou à Nijni-Novogorod réunit la capitale industrielle de l'empire avec son principal marché, célèbre par les transactions considérables qui s'y font au moment de la foire annuelle ; elle met le Volga, artère navigable de 3,600 kilomètres, située tout entière en dehors du territoire propre au réseau concédé, en communication avec Moscou, par la ligne de jonction la plus courte. Un large trafic lui est assuré.

Le capital total de la Compagnie sera de 1 milliard 139 millions de francs, et doit être dépensé en dix ans.

La direction supérieure de cette vaste entreprise est confiée à M. Collignon, inspecteur général des ponts et chaussées, si connu par ses écrits sur la navigation et par les beaux travaux qu'il a exé-

cutés sur le canal de la Marne au Rhin, ainsi que sur le chemin de fer de Paris à Strasbourg.

Les chemins russes exerceront non-seulement une immense influence sur le commerce intérieur de la Russie, ils permettront encore l'exportation à l'étranger de 50 à 60 millions d'hectolitres de blé, excédant annuel de la production sur la consommation, qui, faute de voies de communication, ne peuvent être portés à l'extérieur.

On pouvait craindre que la rigueur du climat en Russie fût un obstacle au succès des chemins de fer. Elle sera, au contraire, un des éléments les plus décisifs de ce succès. Le froid n'entrave jamais la marche des trains, comme on est disposé à le croire : la neige n'a interrompu la circulation en moyenne qu'un jour tous les ans sur le chemin de Saint-Pétersbourg à Moscou. Par contre, les voies navigables sont gelées pendant six mois dans le Nord, et, pendant cette période, le chemin de fer aura le monopole de tous les transports, facilités d'ailleurs par le traînage pour les relations latérales.

Italie. — Le mérite d'avoir inauguré les chemins de fer en Italie appartient à deux ingénieurs français, MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès, auteurs du chemin de Naples à Nocera, avec embranchement sur Castellamare; celui de les y avoir propagés, aux directeurs ou ingénieurs en chef du réseau lombardo-vénitien, MM. Paulin Talabot et Busche, qui appartiennent également au corps impérial des ponts et chaussées, et à des capitalistes français, italiens et allemands, MM. le duc de Galiera, de Rothschild, etc. Il revient encore au célèbre ingénieur anglais Robert Stephenson, qui a tracé et exécuté le réseau toscan, ainsi qu'aux ingénieurs italiens Miladi, Bolze et Keissler.

Aujourd'hui, en 1857, l'Italie ne possède encore que des tronçons de chemins de fer, mais ils concourent à la formation de lignes qui se relieront, dans un avenir peu éloigné, à celles des États voisins. Dans l'Italie supérieure, sont en exploitation les chemins de fer suivants, qui, réunis, doivent former plus tard les lignes de Milan à Venise, en correspondance par la mer Adriatique avec Trieste, savoir : Milan à Treviglio (24 kilomètres); Vérone et Ve-

nise, par Vicence et Padoue (120 kilomètres), avec embranchement, d'une part, de Vérone à Mantoue, et, d'autre part, de Monza à Lecco. Sont en construction ou à l'étude, le chemin de Milan à la frontière sarde, celui de Milan à Plaisance, point où aboutira également le chemin dit du centre de l'Italie, lequel passera à Parme, Modène, Bologne, et se réunira au réseau toscan à Pistoja ; de Modène, un embranchement se dirigera sur Mantoue. Quant au réseau toscan, il se compose du chemin de Florence à Prala et Pistoja, long de 34 kilomètres, déjà construit; des chemins de Florence à Pise, avec embranchement de Pise à Lucques, de Pise à Livourne, et d'Empoli à Sienne, également construits, longs de 179 kilomètres. Florence sera reliée avec Rome par une voie ferrée passant par Arezzo et à Pérouse, et formant avec le chemin central une grande artère dans le sens de la longueur de l'Italie. De Modène, une voie conduira à Rimini et à Ancône, et un chemin transversal unira Rome à Ancône. — Le seul chemin exploité dans les États romains est celui de Rome à Frascati. Mais le pape vient de concéder tout un réseau à une compagnie française.

Le chemin de Rome à Naples est commencé, le gouvernement napolitain a concédé en 1855 la ligne de Naples à Ortona, point important de l'Adriatique, longue de 380 kilomètres. Les sections diverses qui relient la ligne principale à San-Severo, Popoli et Ferano, ont une étendue d'environ 200 kilomètres. Le 13 octobre 1856, les statuts de la compagnie du chemin de fer de Naples à la frontière romaine, dont l'étendue est de 600 kilomètres, y compris les embranchements, ont été approuvés. Le 31 septembre de la même année, le chemin de Salerne par Evole à Tarente, avait été concédé. Enfin le chemin de fer de Naples au golfe de Tarente a été autorisé. L'Italie pourra donc, dans quelques années, être parcourue sur voies de fer dans toute sa longueur.

Sardaigne, Piémont et Savoie. — Le gouvernement sarde, se voyant menacé par la concurrence de l'industrie étrangère et ne trouvant alors aucune Compagnie qui voulût se charger du chemin de Turin à Gênes, l'un de ceux qui, en Europe, ont présenté les plus grandes difficultés de construction, l'entreprit résolûment, dès 1846, avec ses propres moyens.

Plus tard il encouragea, par des garanties d'intérêt et par des abaissements de droit, la construction des chemins de fer dans ses États. Grâce à sa coopération éclairée, il s'est formé, depuis quelques années, des Compagnies nationales qui, aujourd'hui toutes à l'œuvre, auront bientôt doté le pays de nombreuses voies de communication rapides.

Parmi ces Compagnies, il faut placer en première ligne la Compagnie Victor-Emmanuel, à laquelle ont été concédés les chemins d'Aix-les-Bains à Saint-Jean-de-Maurienne et Modane, au pied du mont Cenis, se reliant au chemin de Lyon à Genève, à Culoz, et le chemin de Suze à Turin. Ces deux tronçons ne seront séparés que par le mont Cenis, que l'on traversera, soit au moyen d'un souterrain, soit par des plans inclinés. Une fois le mont Cenis franchi par un chemin de fer, le chemin Victor-Emmanuel établira une communication métallique non interrompue de Paris à Turin et à Gênes. La même Compagnie doit construire un embranchement d'Annecy à Seyssel.

La section d'Aix à Saint-Jean-de-Maurienne, longue de 84 kilomètres, et celle de Suze à Turin, de 53 kilomètres, sont déjà livrées à l'exploitation.

Une ligne, se détachant du chemin de Turin à Gênes à Alexandrie, se dirige par Mortara et Novare vers Arona, sur le lac Majeur. Elle est déjà livrée à l'exploitation sur toute sa longueur. Plus tard elle fera partie de la grande voie de communication qui unira la Suisse au port de Gênes.

Le chemin de Turin à Milan est terminé sur le territoire piémontais. Il dessert Chivasso, Verceil et Novare. De ce chemin se détachent des embranchements sur Yvrée, Bielle et Casale.

Outre ces grandes artères, on a construit en Piémont plusieurs chemins moins importants, tels que le chemin de Turin à Pignerol (38 kilomètres); d'Alexandrie à Aqui (34 kilomètres); de Vigevano à Mortara (13 kilomètres), etc., etc.

La longueur totale des chemins livrés à l'exploitation en Piémont au 1er janvier 1857 était de 711 kilomètres; celle des chemins concédés nous est inconnue.

Une Compagnie, dans le conseil d'administration de laquelle on

s'étonne de voir figurer le président du conseil d'État d'un canton suisse, celui de Genève, a obtenu la concession d'un chemin établi en Savoie, le long des bords méridionaux du lac, chemin qui enlèvera aux chemins suisses de la rive septentrionale une partie du trafic de la France vers l'Italie.

Les projets du chemin de Turin à Gènes ont été rédigés, et le chemin a été construit en grande partie sous la direction de M. Maus, le célèbre ingénieur belge qui a établi le grand plan incliné de Liége. Les hommes qui, outre cet ingénieur, ont pris la plus grande part à l'établissement du réseau piémontais, sont M. de Ravel, ministre des travaux publics, auteur du projet de loi pour l'exécution du chemin de Turin à Gênes; M. l'ingénieur Paleocapa, ministre actuel; MM. les ingénieurs Grandis, Ronconi, Negretti, etc.; Pickering et Henfrey; MM. Laffitte, Bixio, et l'entrepreneur Brassey.

Suède et Norvége. — Il n'existait, à la fin de 1854, d'après l'*Annuaire des chemins de fer* de Chaix, que 120 kilomètres exploités en Suède et 67 en Norvége. De nombreux tronçons ont été livrés au public depuis cette époque; nous n'avons pu nous fournir aucuns renseignements précis sur leurs longueurs.

Parmi les chemins exploités, le plus important est celui de Christiania au lac Mjosen, qui se trouve en entier sur le territoire norvégien. Il met un cinquième de la propriété et un quart de la population en communication avec la capitale. La longueur totale de la voie est de 67k,2; le lac Mjosen est sillonné par des bateaux à vapeur jusqu'à 107 kilomètres de Christiania et établit ainsi une communication rapide entre les populations nombreuses, les districts les plus favorisés par la nature, par l'industrie et le littoral de la mer du Nord, avec laquelle les rapports commerciaux étaient jusque-là difficiles et par conséquent onéreux. Cette région comprend, en effet, une des parties les plus accidentées de la Norvége; au premier aperçu, le chemin de fer semblait impraticable, et il a fallu toute l'habileté et toute la hardiesse du célèbre ingénieur anglais Brassey, qui a dirigé les travaux, pour vaincre des difficultés si nombreuses.

Le chemin de fer dont il est question aura coûté 11,250,000 fr. à construire. Un réseau tout entier est aujourd'hui projeté.

Une ligne de 500 kilomètres se dirigerait, de l'est à l'ouest, entre

Stockholm et Gothenbourg; elle relierait entre elles ces deux villes importantes, et, par conséquent, la mer du Nord et la Baltique. De cette ligne partirait un embranchement qui remonterait vers le nord-ouest, passerait par Christiania et Carlstadt, pour rejoindre la ligne de Norvége, en construction; cette dernière va de Christiania à la frontière suédoise, près du fort de Konisgvinger; sur le territoire suédois, cet embranchement aurait une longueur de 260 kilomètres environ. Une troisième ligne, de 280 kilomètres, partirait de Iankoping, et se prolongerait jusqu'à Malmo, sur la côte de la province de Scanie, en face de Copenhague. Entre Malmo et la capitale du Danemark, un service régulier de bateaux à vapeur fonctionne depuis plusieurs années; la traversée est d'une heure et demie. Enfin, pour compléter cette partie du réseau, une ligne de jonction de 60 kilomètres unirait la ligne du Nord au Midi à celle de l'Est à l'Ouest, de Iankoping à Falcoping.

Pour les portions situées au nord de la capitale, on construirait une ligne de 180 kilomètres, entre Stockholm, Upsal et Gefle; enfin, une voie ferrée de 100 kilomètres, actuellement en construction, et qui sera terminée l'année prochaine, ira de Gefle à Falcon, en Dalécarlie. L'auteur du projet de ce réseau est le célèbre ingénieur suédois, capitaine Erickson, qui a construit une partie du canal de Gothie (écluses de Frolhatta), du grand canal de Saima, dans la Finlande orientale, et des magnifiques écluses de Stochkolm. L'étendue du réseau complet sera d'environ 1,500 kilomètres.

Danemark. — Le chemin le plus important de ce pays est celui de Copenhague à Korsoer, sur le grand Belt, long de 138 kilomètres, qui traverse l'île de Seeland dans sa plus grande largeur. D'autres chemins ont été établis ou sont en voie de construction dans des propriétés allemandes du Danemark. Ils forment un réseau dont le gouvernement presse l'achèvement.

Parmi ces chemins, le premier établi est celui d'Altona à Kiel, long de 104 kilomètres. Un autre chemin, celui de Flensbourg à Tonningen, réunit les deux mers.

Suisse. — La Suisse, à première vue, semble de tous les pays le moins propre à la construction des chemins de fer. Ses hautes montagnes, son organisation politique même, semblent de graves

obstacles à l'établissement des voies ferrées. Aussi a-t-elle longtemps hésité avant de suivre l'exemple donné par les autres États européens. La concurrence des fabriques étrangères devenant cependant menaçante pour son industrie, et la popularité des chemins de fer, comme moyen de transport des voyageurs, grandissant chaque jour, la Confédération songea à prendre un parti.

C'était en 1852. Déjà quelques essais avaient été tentés sur le sol helvétique. Une société vaudoise, présidée par M. Perdonnet père, avait, dès 1844, fait étudier, par M. l'ingénieur Fraisse, à ses frais, le chemin de Morges à Yverdun, avec embranchement sur Lausanne, et, quelques années plus tard, M. l'ingénieur Sulzberger obtenait la concession de cette ligne. Une autre société livrait, en 1847, à la circulation le petit chemin de Baden à Zurich.

Le célèbre ingénieur Robert Stephenson fut, en 1852, appelé pour étudier un ensemble de chemins de fer en rapport avec les besoins et les ressources du pays, et une commission fut nommée pour rechercher les moyens de le mettre à exécution.

Partant du principe qu'il fallait, *autant que possible*, construire les grandes artères dans les vallées et ne s'établir qu'exceptionnellement sur les plateaux, il traça un réseau dont on s'est trop écarté dans l'exécution.

Encouragées par le rapport favorable de cet ingénieur, par les recherches statistiques de la commission fédérale, par le succès des Compagnies étrangères et par l'espoir que le perfectionnement des locomotives permettrait de gravir à moins de frais les fortes pentes, de nombreuses Compagnies se présentèrent dans le courant des années 1853, 1854 et 1855, pour l'exécution des chemins de fer en Suisse, et aujourd'hui, en 1857, 424 kilomètres sont en exploitation et 567 kilomètres en construction.

Comme fondateurs des chemins de fer en Suisse, on cite M. Geigy, président de la Compagnie centrale; M. Escher, président de la Compagnie Nord-Est; M. Kern, vice-président de la même Compagnie; M. Émile Pereire, de Paris; feu M. Speiser, de Bâle; M. Auber, de Genève; M. Perdonnet père, le conseiller d'État Louis Blanchenay, les publicistes Schmidlin, de Bâle, et John Coindet, de Genève, et MM. les ingénieurs Fraisse, de Lausanne; Etzel, du Wurtemberg; Kol-

ler, de Zurich; Laurent, de Chavornay, et Ziegler, de Vintherthur.

Si nous étudions la carte des chemins de fer suisses, nous remarquons qu'une grande artère s'étendra du sud au nord de la Suisse, entre Genève et Bâle, et que cette artère passera par Lausanne, Fribourg et Berne; qu'une autre ligne traversera la Suisse de l'ouest à l'est, partant encore de Genève et aboutissant au pied du Simplon, après avoir desservi Lausanne, Vevey, Villeneuve, Saint-Maurice et Sion; qu'un chemin de fer, se soudant à Jougne au chemin français de Paris à Jougne par Dijon et Dôle, et près de Lausanne au chemin de Genève au Simplon, deviendra la grande voie de communication entre Paris et Milan; qu'un embranchement de cette même ligne, s'en détachant près de Pontarlier et passant aux Verrives, desservira Neufchâtel et le centre de la Suisse; que le lac de Constance sera réuni au lac de Genève par la grande voie déjà construite en grande partie de Romaushorn à Berne, et par le chemin de Berne à Lausanne et Genève; qu'une autre voie ferrée du premier ordre, tracée de Romaushorn à Coire, servira plus tard de lien entre l'est de la Suisse et l'Italie par le Luckmanier; et qu'enfin les capitales d'un grand nombre de cantons, Berne, Bâle, Lausanne, Genève, Neufchâtel, Fribourg, Zurich, Schaffhouse, Soleure, Saint-Gall, Appenzell, Coire, Lugano et Liestall, sont ou seront desservies prochainement par des voies ferrées.

La grande artère de Genève à Bâle, par Fribourg et Berne, devant être d'un parcours difficile par suite des fortes pentes que nécessite la construction du tronçon de Lausanne à Fribourg, une ligne plus directe sera certainement établie par Lausanne, Yverdun, la rive gauche du lac de Neufchâtel, Neufchâtel, Bienne et Soleure. La concession en est demandée, mais elle n'est pas encore accordée.

Espagne. — Les renseignements les plus récents que nous possédions sur les chemins de fer espagnols datent du 1er novembre 1856. La longueur des chemins de fer exploités alors était de 533 kilomètres 1/2; celle des chemins concédés, y compris ceux exploités, était de 2,866 kilomètres. Aujourd'hui, en 1857, la longueur des chemins concédés dépasse 3,000 kilomètres.

En 1830, lorsque l'Angleterre commençait à peine l'établissement de ses grandes lignes de chemins de fer, un projet fut rédigé

pour l'établissement d'un *camino de hierro* de Cadix à Puerto Santa Maria. Nous avons eu ce projet entre les mains. Mais il resta inexécuté. Ce n'est qu'en 1840 que fut concédé le chemin de Madrid à Aranjuez, long de 28 kilomètres seulement, aujourd'hui exploité. De 1843 à 1851, deux autres lignes ont été entreprises, celle de Langreo à Gijon et à Oviedo, longue de 49 kilomètres, et celle d'Alar del Rey à Santander, longue de 50 kilomètres. De 1852 à 1855, quelques lignes importantes ont été concédées, telles, par exemple, que celle de Barcelone à Saragosse, longue de 320 kilomètres, faisant partie aujourd'hui du chemin de Madrid à Albacete. En 1848, on commença celle de Barcelone à Mataro, longue de 28 kilomètres ; les lignes d'Almansa à Jativa, longue de 71 kilomètres; d'Almansa à Alicante, longue de 97 kilomètres, et de Jativa à Valence, longue de 60 kilomètres, furent concédées en 1851 et 1852; mais l'impulsion qu'a reçue l'industrie des chemins de fer en Espagne ne date réellement que de 1855. Les grandes lignes de Madrid à Saragosse (360 kilomètres), Madrid à Almansa (356 kilomètres), Madrid à la frontière française, par Valladolid et Burgos (621 kilomètres), Séville à Cordoue (130 kilomètres), Jerez à Séville (100 kilomètres), et de Valence à Tarragone (280 kilomètres), ont été toutes concédées en 1855 et 1856.

Les noms de nos grands financiers Rotschild et Pereire, qui ont exercé une si grande influence sur l'établissement des chemins de fer français, se retrouvent encore parmi ceux des fondateurs des lignes principales de la péninsule espagnole. M. Salamanca a également joué un rôle important dans la création des voies ferrées espagnoles. Parmi les ingénieurs nous nommerons M. Pedro Miranda, qui a été ingénieur en chef directeur du chemin d'Aranjuez, MM. Angel, Retortillo, Meliton, et l'ingénieur anglais William Green.

L'Espagne, si riche en minéraux de toute espèce, et à laquelle il ne manque que de bonnes voies de communication pour devenir l'un des pays du monde les plus prospères, retirera incontestablement de l'établissement des chemins de fer les plus grands avantages.

Ile de Cuba. — Cette colonie était déjà riche en chemins de fer,

que la mère patrie en possédait à peine quelques kilomètres. Il y existait déjà, en 1854, plusieurs lignes dont la longueur, considérable pour un si petit pays, était de 604 kilomètres. De nouveaux chemins d'une assez grande longueur ont été concédés depuis lors à des Compagnies respectables.

Portugal. — Ce pays est un des plus pauvres de l'Europe en chemins de fer construits. Un chemin a été livré à la circulation entre Lisbonne et Carregado ; il se prolongera très-prochainement jusqu'à Santarem. La ligne de Lisbonne à Santarem, longue de 72 kilomètres environ, servira de tronc commun aux chemins projetés de Lisbonne à Oporto et de Lisbonne à la frontière d'Espagne. Celui de Lisbonne à Oporto vient d'être concédé.

Un chemin de Lisbonne à Cintra (28 kilomètres) et une ligne plus importante (75 kilomètres), passant à Vendas, Novas et Setubal, ont été concédés en 1854 et 1855. On a aussi rédigé le projet d'un chemin de fer qui relierait Lisbonne à Cadix, et celui d'une d'une voie ferrée qui, partant d'Oporto, s'étendrait jusqu'à Vigo.

On ne cite en Portugal que M. Fuentès parmi les hommes politiques qui se sont occupés de la construction des chemins de fer.

Turquie. — Grâce à l'heureuse influence des nouveaux alliés du sultan, on est sur le point d'exécuter aussi dans ce pays tout un réseau de chemins de fer. Le projet de ce réseau, d'après la *Gazette des Chemins de fer* de Bresson, comprendrait deux groupes de railways : le premier se composerait des lignes de Belgrade à Setovanieza, de Setovanieza à Constantinople par Andrinople, de Setovanieza à Pristnia, de Pristnia à Scutari-Bojana (sur la mer Adriatique), et de Pristnia à Salonique ; le second renfermerait les lignes de Bucharest à Vetsevova, frontière autrichienne près d'Orsova ; de Bucharest à Varna ; de Bucharest à Predial, près de Cronstadt (Esclavonie, Autriche) ; de Bucharest à la frontière Bukovine, près de Czernowiez. Les points de jonction avec les voies de transit européen seront à Semlin, en face de Belgrade, où aboutira le chemin projeté de Comoni (lignes autrichiennes) ; à Vetsevova, près d'Orsova, communiquant avec le chemin de Basiarch à Orsova, qui suivra le cours du Danube (lignes autrichiennes) ; à Predial, près Cronstadt ;

enfin à Jahy et Czernowicz, sur la frontière de la Moldavie et de l'Autriche.

Ce réseau, ainsi que l'on pourra s'en convaincre en examinant la carte, ne laisse hors de son parcours aucune des places importantes de la Turquie. L'exécution n'en offre aucune difficulté extraordinaire, et les frais de construction seront amplement couverts par les transports que fourniront des contrées fertiles, riches en produits agricoles et métallurgiques, et auxquelles il ne manque que des moyens de transport pour les céréales et pour les produits de l'exploitation des gisements métallifères.

En jetant les yeux sur une carte d'Europe, on voit que les chemins de l'Est français, ainsi que les lignes qui conduisent de la frontière de Turquie à Strasbourg, doivent surtout profiter de l'accroissement de circulation qui suivra la création du réseau turc.

De ces différents chemins, celui qui probablement sera exécuté l'un des premiers sera celui de Belgrade, l'un des points extrêmes du chemin autrichien François-Joseph.

Une Compagnie anglaise a demandé la concession de celui de Routschouk à Varna, qui n'est pas compris dans le réseau que nous venons de décrire, et qui a pour objet d'abréger considérablement le trajet qui a lieu aujourd'hui de Vienne à Constantinople par le Danube et la mer Noire.

Grèce. — La Grèce ne possède encore aucune ligne de fer. Les Chambres grecques ont été saisies d'un projet de chemin d'Athènes au Pirée, long de 4 kilomètres; ne désespérons donc pas de voir bientôt l'espace qui sépare Athènes de Sparte franchi par des locomotives.

Algérie. — Il n'existe encore aucune voie ferrée en Algérie; mais, au moment où nous allions mettre sous presse, un décret de l'Empereur a décidé qu'il y serait créé un réseau embrassant les trois provinces. Ce réseau se composera :

1° D'une ligne parallèle à la mer, suivant à l'est le parcours entre Alger et Constantine, et passant par ou près Aumale et Sétif; à l'ouest, le parcours entre Alger et Oran, et passant par ou près Blidah, Amourah, Orléansville, Saint-Denis-du-Sig et Sainte-Barbe.

2° Des lignes partant des principaux ports et aboutissant à la ligne parallèle à la mer, savoir : à l'est, de Philippeville ou Stora à Constantine, en passant par Guelma; à l'ouest, de Tenès à Orléansville, d'Arzew et Mostaganem à Relizam et d'Oran à Tlemcen, en passant par Sainte-Barbe et Sidi-bel-Abbès.

L'accomplissement de cette grande œuvre consolidera notre puissance en Algérie mieux encore que les victoires de nos armées.

Parmi les hommes qui ont étudié le plus sérieusement la question des chemins de fer algériens, nous placerons au premier rang le gouverneur actuel maréchal Randon, et le général du génie Chabaud-Latour.

Égypte. — En Égypte, il n'existe qu'un chemin de fer, celui d'Alexandrie au Caire. On travaille à la prolongation de ce chemin vers la mer Rouge.

Brésil. — Au Brésil, le gouvernement encourage par des garanties d'intérêts et par des concessions de priviléges l'établissement des chemins de fer dans ses États.

Trois chemins de fer sont en voie d'exécution ou terminés. Le premier chemin de fer qui ait été construit au Brésil est celui de Mana à la Sarra da Estrella, inauguré il y a deux ans environ. Il n'a qu'une seule voie, et forme une section de 16 kilomètres de la ligne de Rio à Petrepolis. La route à partir de la ville comprend 22 kilomètres en bateau à vapeur pour traverser la rade, puis 16 kilomètres en chemin de fer, et enfin de 11 à 12 kilomètres, en gravissant le flanc de quelques montagnes escarpées par une route de voiture très-bien macadamisée.

La ligne de Rio-Janeiro au pied de la Terra da Mar, surnommée chemin de fer Don Pedro II, d'une longueur de 80 kilomètres, est en bonne voie d'avancement, et pourra être ouverte vers la fin de 1857.

La ligne de Pernambuco est également poussée avec activité; la première section sera livrée prochainement à la circulation.

Chili. — Le chemin de fer de Santiago à Valparaiso a été livré à la circulation.

Il s'est formé, à Santiago, parmi les principaux capitalistes, une Compagnie anonyme pour la construction d'un chemin de fer entre

la capitale et la ville de Tolea, située sur le Rio-Meurle, à 220 kilomètres au sud. (*Annuaire* de Chaix.)

Australie. — Les deux chemins de fer de Williams-Town et de Greelong sont en voie d'achèvement.

Inde. — Le chemin de fer de Calcutta à la ville de Berdevan et aux mines de houille de Ranecgungh a été inauguré en février 1855, sous la présidence de l'ingénieur Mac Donald Stephenson, directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Inde. Il y a quatorze ans déjà que des projets de chemins de fer, destinés à relier les différentes parties de l'Inde britannique, sont à l'étude; mais les travaux n'ont commencé qu'en 1849. On compte aujourd'hui 193 kilomètres entièrement achevés et exploités; 1,038 kilomètres sont concédés et doivent être terminés en 1857; 320 kilomètres sont en construction; 608 kilomètres, destinés à compléter la ligne de Calcutta à Lahore, sont à l'étude. En résumé, le réseau indien comprenait, à la fin de 1855, soit à l'état d'exploitation, soit à l'état de construction ou de projet, 2,160 kilomètres.

Dans l'origine, on craignait que la population indienne n'osât pas s'aventurer sur les chemins de fer, et que la sécurité de la voie ne fût compromise en présence de préjugés hostiles et au milieu d'un pays où la surveillance rencontre de grandes difficultés. L'événement a prouvé que ces alarmes étaient mal fondées, et que les Hindous ont su bien vite apprécier les avantages du nouveau mode de locomotion. Les Brahmes voyagent très-commodément dans les waggons sans craindre de perdre leur caste. Ils font usage du télégraphe électrique sans éprouver le moindre remords. C'est toute une révolution qui consolide la conquête en même temps qu'elle est destinée à améliorer la condition matérielle et morale du peuple conquis.

Ces renseignements sur les chemins de fer de l'Inde, empruntés au *Journal des Chemins de fer*, se complètent par les suivants : un plan complet, embrassant l'Inde entière dans son vaste réseau, a été envoyé en Angleterre par le gouverneur général des possessions anglaises pour être soumis à l'approbation du gouvernement. Le point de départ serait à Calcutta, d'où le railway irait traverser le Gange à Ramajhal, puis le Doab, et se dirigerait vers Agra et Delhy.

A cette ville, la ligne compterait 1,100 kilomètres de longueur. Une fois que cette portion serait achevée, on poursuivrait la voie ferrée jusqu'à Lahore et Peshawar pour mettre en rapport la vallée de l'Indus avec celle du Gange. A un point quelconque du chemin de Calcutta à Delhy, viendrait se souder une ligne partant de Bombay, qui rapprocherait Calcutta de l'Europe de plusieurs journées. Enfin Madras serait lié au réseau par une ligne s'étendant pendant 70 milles (112 kilomètres) vers l'ouest, et qui, là, se bifurquerait pour aller d'un côté vers Calicut, sur la côte de Malabar, et de l'autre vers Bombay, par Bellary.

Nouvelle-Grenade. — On a livré à la circulation (28 janvier 1855) le chemin de fer de Panama. Le trajet de l'isthme, qui, dans l'origine, avait demandé jusqu'à dix-sept jours, et que, par les moyens ordinaires, on était parvenu à réduire aux fatigues de trois journées, s'opère aujourd'hui en six heures.

États-Unis du Mexique. — Le chemin de Téhuantépec, en construction actuellement, est un redressement de celui de Panama. Il aura 120 kilomètres de longueur, et fera suite à une navigation fluviale de 100 kilomètres. Il présente, pour les rapports de l'Europe et de l'Amérique avec le Pérou, la Nouvelle-Calédonie, l'Australie, la Chine, le Japon, la Russie d'Asie et la Californie, une économie de dix à quinze jours sur le trajet total. Il réduit de vingt-six à quatorze jours le trajet de New-York à San-Francisco, et place la Nouvelle-Orléans à quatre jours du Pacifique et à onze jours au lieu de vingt de San-Francisco.

Asie. — On s'occupe sérieusement en ce moment (avril 1857) de l'étude d'un chemin de fer qui s'étendrait de Swedia et d'Antioche à l'Euphrate. On obtiendrait ainsi l'union de la Méditerranée avec le golfe Persique, au moyen de voies ferrées jusqu'au fleuve, et de bateaux à vapeur sur le fleuve.

Une compagnie anglaise a obtenu la concession d'un chemin de Smyrne à Aïdin.

De la longueur des chemins de fer établis comparée à la surface des principaux pays.

Nous croyons ne pouvoir mieux terminer ce chapitre sur la construction des chemins de fer dans les différents pays qu'en comparant leur longueur à la surface territoriale de ces pays et à leur population.

Le tableau suivant fournira les éléments de cette comparaison.

NOMS DES ÉTATS.	POPULATION.	ÉTENDUE DU TERRITOIRE.	POPULATION PAR KILOMÈTRE CARRÉ.	LONGUEUR DES CHEMINS DE FER CONSTRUITS.	LONGUEUR PAR KILOMÈTRE CARRÉ.	LONGUEUR PAR MILLION D'HABITANTS.
Angleterre, 1er janv. 1856.	27,455,325 h	309,668 kc	88 h 5	15,315 k	42 m 99	486 k 0
Etats-Unis, 1er janv. 1855.	24,000,000	8,896,415	2 6	31,842	3 57	1 327 0
France, 1er janv. 1857..	35,783,170	527,686	67 7	6,186	11 74	172 8
Belgique, *id.*	4,359,090	29,425	148 1	1,430	48 60	325 0
Russie d'Europe, *id.*....	54.000,000	4,851,089	11 1	720	0 15	13 3
Autriche, y compris la Lombardie et Venise, 1er janv. 1854...	36,514,466	662,326	55 1	1,972	2 97	54 0
Prusse, 1er janv. 1857..	16,400,000	282,697	58 0	3,451	12 20	210 5

CHAPITRE III

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA DISPOSITION DES VOIES EN FER

SUR LES MOTEURS QUI Y SONT EMPLOYÉS ET SUR LES AVANTAGES DES CHEMINS DE FER AU POINT DE VUE TECHNIQUE

Disposition des voies. — L'effort qu'il faut exercer pour remorquer un véhicule sur une route est d'autant moindre que la surface sur laquelle se meuvent les roues est plus dure et plus unie.

Les Romains attachaient une grande importance à la construction de la chaussée de leurs routes. Ils la composaient de matériaux si résistants et lui donnaient une épaisseur telle, que l'on trouve encore fréquemment des portions de routes dans un état parfait de conservation. La partie extérieure de ces chaussées sur laquelle s'opérait le roulement se composait en général de blocs de pierre d'assez forte dimension assemblés avec soin.

Dans les temps modernes, on a dû renoncer à un mode de construction si dispendieux; aussi a-t-on composé les chaussées de matériaux de plus faible dimension, mais qui, par cela même, offraient au roulage une surface moins unie.

Le roulage sur ces nouvelles routes étant devenu beaucoup plus difficile que sur les anciennes routes romaines, on imagina d'abord de faire porter les roues sur deux files parallèles de pierres dures et bien dressées, tandis que les chevaux marchaient dans l'espace compris entre ces bandes de pierres; puis, voulant augmenter encore la dureté du chemin, on fut conduit à les remplacer par des plaques ou des bandes de fonte ou de fer.

Telle a été l'origine *des chemins de fer ou chemins garnis de files parallèles de bandes de fer ou de fonte fixées solidement au terrain.*

Les chemins de fer sont souvent désignés sous le nom de *rail-*

ways. Ce mot, emprunté à la langue anglaise, est formé de deux autres : *way*, chemin, et *rail*, bande. Ainsi railway ne signifie pas seulement un chemin de fer, mais un chemin composé de files parallèles de bandes de matière quelconque, un chemin composé, par exemple, de bandes parallèles de pierre, comme il en existe encore à Milan et à Londres, ou bien un chemin composé de bandes de bois, comme on en voit aux États-Unis et dans beaucoup de mines en Prusse. Les bandes qui constituent le chemin s'appellent alors des rails.



Fig. 1. — Rails à bandes saillantes.

Les railways sont à *bandes saillantes* (*edge-rails*), lorsque les bandes de fer ne portent aucun rebord pour maintenir le chariot sur la voie ; c'est alors sur les roues que se trouvent les bourrelets ou saillies qui empêchent la roue de dévier, comme figure 1.

Ils sont à *bandes plates* (*plate rails*), quand les bandes sont garnies d'un rebord, ce qui permet d'employer pour les voitures les roues ordinaires. (Fig. 2.)

Fig. 2. — Rails à bandes plates.

Les chemins à bandes saillantes sont aujourd'hui généralement préférés aux chemins à bandes plates, à cause de la grande facilité avec laquelle on maintient la surface des rails parfaitement propre.

On trouve cependant encore un grand nombre de chemins à bandes plates dans les mines ou dans le voisinage des grands établissements d'industrie.

Le chemin de fer réduit pour ainsi dire à sa plus simple expression n'est composé que de deux files de bandes de fer. C'est ainsi que l'on peut concevoir le chemin de fer tel qu'on l'a établi dans l'origine pour transporter du charbon ou des produits industriels à de petites distances, sur des chariots qui marchaient une partie de la journée dans un sens avec la même vitesse, et qui revenaient ensuite sur le même chemin dans la direction opposée.

Mais cette voie unique, composée de deux files de rails seulement, devint insuffisante dès que les chariots durent se croiser ou se dépasser. On posa alors deux voies, ou quatre files de rails, sur toute la longueur de la route, ou du moins de distance en distance, sur une partie de la longueur, et on se ménagea les moyens de passer à volonté d'une voie sur une autre.

Les chemins de fer composés de deux voies sur toute leur longueur sont appelés *chemins à double voie ;* ceux dans lesquels on n'a posé une double voie que sur une partie de la longueur sont nommés *chemins à simple voie.*

Dans certains pays où le terrain est précieux, les routes ordinaires sont tellement étroites, que deux voitures ne peuvent y marcher de front et se croiser que dans quelques endroits où elles présentent des espèces de renflements. On est alors forcé de faire en sorte de ne se rencontrer que dans ces gares ménagées à dessein. Sur les chemins à simple voie, il faut aussi calculer la marche des convois, de telle façon qu'ils se rencontrent exactement dans les parties où sont placées les deux voies. Les chemins à double voie sont plus commodes, mais ils sont plus coûteux.

Quelques accidents arrivés sur des chemins à une seule voie en France ont conduit à penser qu'ils étaient excessivement dangereux. La plupart des chemins belges et des chemins allemands ont cependant été exploités avec une seule voie pendant plusieurs années sans que le nombre des accidents y fût plus grand que sur les chemins à deux voies. Les chemins à une voie ne sont d'une exploitation réellement difficile, et, par suite, dangereuse, que lorsque la circulation y dépasse certaines limites. Ce n'est que sur des chemins de cette espèce, où la circulation était trop active pour une seule voie, ou sur des chemins mal exploités, que l'on a eu à déplorer des accidents graves.

On a construit des chemins de fer composés d'une seule file de rails qui ont été appelés, du nom de leur inventeur Palmer, *chemins à la Palmer.* Les roues des voitures employées sur ces chemins sont creusées en gorge de poulies à leur pourtour et placées au milieu des essieux, chaque essieu n'en portant qu'une seule. La charge en marchandises ou en voyageurs est logée dans des caisses

suspendues aux extrémités des essieux, et les rails sont établis sur des colonnes ou des piliers au-dessus du sol. La fig. 3 représente un

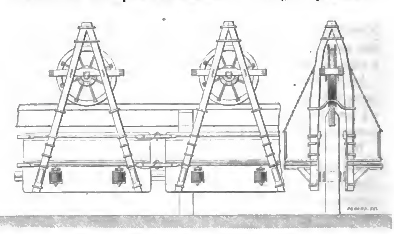


Fig. 3. — Chemin à la Palmer, près Posen.

chemin à la Palmer établi près de Posen en Prusse, pour le transport des produits d'une briqueterie à une distance de 1,800 mètres.

Ce mode de construction est, sans doute, fort économique; mais les chariots sur un chemin de ce genre éprouvent une grande résistance, si on ne charge également les extrémités des essieux, condition difficile à remplir lorsqu'on transporte des voyageurs; le tirage par des chevaux ne peut s'y faire que dans une direction oblique, et la traction par locomotive y paraît difficilement applicable; aussi l'usage en a-t-il été jusqu'à ce jour fort limité. On ne les a employés que dans l'intérieur d'un petit nombre d'établissements industriels (chemin du bureau des navires à Deptfort, près de Londres); pour un transport de marchandises peu important (chemin des fours à chaux et de la briqueterie de Cheshunt, au canal de Lee); pour le service de la briqueterie de Posen; dans

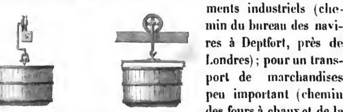


Fig. 4. — Chemin du bureau des navires à Deptfort.

quelques mines de houille (mines de Rive-de-Gier), ou enfin pour des travaux de terrassements (terrassements pour les fortifications de Paris au bois de Boulogne)[1].

M. Amédée Burat décrit, dans son *Traité de la recherche et de l'exploitation des minéraux utiles*, le chemin à la Palmer de Rive-de-Gier, sur lequel on se sert de chariots à une seule caisse, placée, au moyen d'une espèce d'essieu recourbé, au-dessous du rail. (Fig. 4.) Il signale comme inconvénient de ce système le défaut de stabilité des caisses de chariots.

On trouve sur tous les chemins de fer employés au transport des voyageurs et marchandises, aux deux extrémités et à chacun des points intermédiaires où les convois doivent s'arrêter, des bâtiments plus ou moins vastes, qui servent à loger les bureaux de distribution des billets ou à procurer un abri aux voyageurs. Dans le voisinage de ces bâtiments, en certains points, il existe, outre les voies principales du chemin de fer, des voies auxiliaires pour le remisage des voitures et des machines. Le service du chemin exige enfin des ateliers de réparation, des magasins, des réservoirs, etc., etc.

L'emplacement plus ou moins vaste sur lequel ces bâtiments divers avec leurs dépendances ont été construits et ces voies auxiliaires posées porte le nom de *gares de stationnement*, ou *stations*.

Nous étendrons ce nom de gare aux emplacements réservés pour les ateliers, ordinairement construits dans des terrains situés en dehors du chemin, et où les convois ne stationnent pas.

On appelle enfin *gares d'évitement* les parties des chemins à une seule voie sur lesquelles on a posé une double voie. (Fig. 5.)

Fig. 5. — Gare d'évitement.

Ce nom de gares d'évitement est usité aussi pour les parties des chemins à double voie où les convois passent sur une voie latérale, pour reprendre ensuite l'une des voies principales.

[1] Voir un mémoire sur les chemins à une seule file de rails, publié en 1857 par M. le général-major de Prittwitz, intitulé : *Die schwebende Eisenbahn bei Posen*.

On distingue les gares ou stations *extrêmes*, gares d'arrivée ou de départ, et les gares ou stations *intermédiaires*.

Les gares intermédiaires se subdivisent en :

Gares intermédiaires de *première classe*, *deuxième classe* et *troisième classe*, et quelquefois même en gares de *quatrième classe*.

Les gares de première classe sont placées près des grandes villes ou à proximité de localités très-peuplées ; tous ou presque tous les trains s'y arrêtent. Une partie seulement des convois stationne dans les gares de seconde classe.

Considérant les gares sous un autre point de vue, on les divise en :

Gares appropriées au service des *voyageurs* seulement.

Gares appropriées au service des *marchandises* seulement.

Gares appropriées au service des *voyageurs* et des *marchandises*.

Les ateliers de réparation ne sont quelquefois que les dépendances des gares de voyageurs ou de marchandises. Souvent aussi ils sont renfermés dans des gares spéciales.

On peut enfin distinguer les gares traversées par un seul chemin de fer et celles dans lesquelles aboutissent ou se croisent plusieurs chemins de fer.

Moteurs. — On emploie comme moteurs sur les chemins de fer les *hommes* ou les *animaux*, les *machines fixes*, les *machines locomotives*, et la force naturelle de la pesanteur ou *gravité*.

Les hommes poussent ou traînent les chariots ; les chevaux ou les bœufs les traînent presque toujours en agissant également comme sur les routes ordinaires, ou quelquefois en leur donnant le mouvement à un manége. Dans ce dernier cas, les chariots, attachés à la suite les uns des autres, sont fixés à une corde qui s'enroule ou se déroule sur le tambour d'un manége. Ce n'est guère que sur des rampes d'une grande inclinaison (plans inclinés) qu'on emploie les tambours et les manéges. Les machines fixes sont des machines *fixées* au sol, et qui font tourner des tambours, à l'aide desquels on remorque les convois exactement de la même manière. On se sert ordinairement, dans ce cas, de machines à vapeur. Cependant on peut aussi faire usage des machines hydrauliques ou de toute autre espèce. Aux États-Unis, on trouve sur quelques chemins de fer des roues hydrauliques.

Les machines locomotives sont des machines à vapeur, accompagnées de leur chaudière, de leur foyer et de leur cheminée, portées sur un chariot spécial placé en tête du convoi qu'elles remorquent.

Elles impriment le mouvement de rotation à un des essieux du chariot. Les roues qui sont fixées aux extrémités de cet essieu tournent aussi ; mais, comme elles sont gênées dans leur mouvement par la résistance qu'elles trouvent sur le rail, il suffit que cette résistance soit en rapport avec la charge que la machine doit traîner pour qu'elles ne puissent tourner qu'en avançant.

C'est à peu près de la même manière qu'une machine à vapeur, placée sur un bateau, le fait marcher en faisant tourner les deux roues à palettes qui remplacent les rames.

La force naturelle de la pesanteur ne peut être employée qu'à la descente, où elle entraîne les chariots avec d'autant plus d'énergie que la pente est plus forte. Sur un chemin de fer en ligne droite, elle suffit pour faire équilibre à la résistance dès que la pente atteint quatre millièmes, c'est-à-dire, lorsque, par un parcours de mille unités de longueur, mètres ou pieds, le niveau du chemin s'est abaissé de quatre fois cette unité[1]. La plus légère impulsion met alors les chariots en mouvement, et ils peuvent, à la rigueur, descendre sur une pareille pente sans le secours d'aucun moteur.

Sur une pente plus forte, il y a excès de *gravité*, et les chariots descendraient avec une vitesse qui croîtrait constamment jusqu'à une certaine limite, si l'on ne se servait de freins pour les contenir.

Quand la pente atteint deux centièmes environ, l'effet de la pesanteur qui entraîne les chariots descendants est assez grand pour que ces chariots puissent, à l'aide d'une disposition particulière, faire monter des chariots moins pesamment chargés, marchant en sens contraire sur une voie parallèle.

Les chariots qui doivent descendre sont alors accrochés à l'extrémité d'une corde passant sur une poulie couchée horizontalement, ou à peu près, au sommet du chemin incliné, et les chariots qui doivent monter sont fixés à l'autre extrémité de la corde.

[1] La pente est alors *descendante ;* elle serait ascendante et deviendrait une rampe si le niveau s'était élevé au lieu de s'être abaissé.

On conçoit comment les premiers, roulant du haut du plan vers le bas sur une même voie, entraînant, par l'intermédiaire de la corde, les seconds qui suivent, ont, en sens contraire, une voie parallèle.

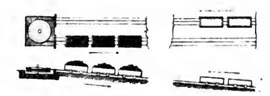


Fig. 6. — Plans automoteurs.

Les plans inclinés disposés de cette manière portent le nom de *plans automoteurs* (self-acting planes). (Fig. 6.)

Avantages des chemins de fer au point de vue technique. — La vitesse est, aux yeux du public, le principal, le seul avantage peut-être, qu'aient les chemins de fer sur les routes ordinaires. On pourrait cependant très-probablement obtenir cette vitesse avec des machines locomotives sur des routes ordinaires, tracées comme les chemins de fer, et parfaitement entretenues; mais elle deviendrait excessivement coûteuse, tant en raison de la grande résistance des voitures que par suite des causes de destruction qui agiraient sur les locomotives.

Le principal avantage des chemins de fer est donc de rendre l'emploi de la machine locomotive possible pour le transport à un prix modéré des voyageurs et des marchandises, du moins lorsqu'ils sont établis dans de certaines conditions que nous ne tarderons pas à faire connaître.

Mais cet avantage n'est pas le seul que possèdent les chemins de fer; la résistance sur les voies de fer est moins grande que sur les routes ordinaires : il en résulte une diminution dans les frais de traction, avec toute espèce de moteur et à un degré quelconque de vitesse, qui a conduit à construire des chemins de fer longtemps avant que les machines locomotives fussent connues.

Cette diminution de résistance, due à l'emploi des chemins de fer, n'est très-sensible, et l'emploi des locomotives n'y a lieu avec avan-

tage, qu'autant que leurs pentes sont faibles et que leur direction se rapproche de la ligne droite.

Pour bien établir ce fait important, analysons les résistances diverses que doit vaincre le moteur sur un chemin de fer ou sur une route ordinaire.

Deux résistances seulement se manifestent dans une voiture qui roule en plaine et en ligne droite sur une route quelconque : l'une au pourtour des roues, résultant des inégalités du terrain, l'autre à l'essieu, provenant des aspérités de la boite dans laquelle l'essieu tourne en frottant.

La première, appelée quelquefois *frottement de roulement*, est considérable sur les routes, car celles-ci ne sont jamais, comme les chemins de fer, parfaitement dures, parfaitement unies. On estime qu'elle est, sur les meilleures routes Mac-Adam, sept fois aussi considérable que la seconde, et on trouve que la somme des deux résistances est égale à un trentième du poids du véhicule et de sa charge, c'est-à-dire telle que, si l'on attachait à l'extrémité de la voiture une corde, et que cette corde, d'abord tendue horizontalement, vînt, après avoir passé sur une poulie fixée au milieu de la route, à tomber verticalement dans un puits, il faudrait, pour entraîner la voiture, ou au moins pour en contre-balancer les résistances et lui permettre de céder à la plus faible impulsion, attacher à l'extrémité de la corde qui pend dans le puits autant de kilogrammes qu'il y a de fois trente kilogrammes dans le poids du chariot.

Sur une route en fer, la résistance sur les essieux du chariot est exactement la même que si le chariot roulait sur une route ordinaire, car elle dépend du mode de construction du chariot, et non de celui de la route ; mais la résistance au pourtour de la roue, qui dépend essentiellement du plus ou moins grand nombre d'aspérités que présente la surface sur laquelle s'opère le mouvement, est presque nulle. Elle n'est plus que la moitié de la résistance sur l'essieu, et la somme des résistances, à une vitesse de moins de six lieues à l'heure, n'est plus que la deux centième partie du poids du chariot, ou même, lorsque le chariot est bien construit et bien graissé, la deux cent cinquantième partie environ.

Cette somme des résistances sur un chemin de fer n'est par conséquent que la septième ou la neuvième partie de ce qu'elle est sur une route ordinaire. *Un cheval, une machine, un moteur quelconque, peuvent donc traîner sur un chemin de fer de niveau, en ligne droite, à une vitesse modérée de moins de six lieues à l'heure, une charge de sept à neuf fois aussi grande que sur une route ordinaire à la vitesse en usage sur ces routes.*

Si la vitesse augmente, la résistance que l'air, même dans l'état de calme parfait, oppose à la marche des convois, devient sensible. Elle s'accroît avec cette vitesse dans une proportion telle, qu'à 60 ou 70 kilomètres par heure elle s'élève, sur un chemin de fer, au double de ce qu'elle est à des vitesses modérées. Ainsi, *à la vitesse de 60 ou 70 kilomètres par heure, un moteur quelconque ne traîne plus sur un chemin de fer de niveau, en ligne droite, que le tiers ou le quart de la charge qu'il traîne sur les routes à la vitesse en usage.*

Si la route, d'horizontale qu'elle était, devient inclinée, tout en conservant la direction rectiligne, et que le cheval soit obligé de gravir une rampe, chacun sait que la résistance qu'il éprouve s'accroît. Cette augmentation ne provient pas de l'un ou de l'autre frottement du chariot : les frottements, au contraire, diminuent; mais il se développe une troisième résistance, occasionnée par le poids du chariot, qui tend à le faire reculer, et qui l'entraînerait si elle était plus forte que les frottements, et si le cheval n'exerçait aucun effort en sens contraire. Cette troisième résistance est d'autant plus grande que la pente est plus forte, et elle croît même si rapidement avec la pente, que, pour peu que les montées soient roides, les chevaux deviennent incapables de mouvoir le véhicule, même au pas, si on ne leur adjoint des chevaux de renfort.

Le frottement au pourtour des roues n'est donc plus, sur une rampe un peu forte, qu'une petite fraction de la résistance totale[1], *et la pose des bandes de fer, comme moyen de réduire ce frotte-*

[1] Sur une pente de quatre millièmes par exemple, imperceptible à l'œil, la résistance totale sur un chemin de fer à une vitesse modérée est déjà double de la résistance due au frottement, la seule qui se manifeste en plaine; sur une rampe de huit millièmes, elle est triple; de seize millièmes, quintuple.

ment, n'offre plus les mêmes avantages qu'en plaine. Les machines fixes peuvent alors, si l'inclinaison ne dépasse pas certaines limites, être encore employées avec économie ; mais il n'en est pas de même des machines locomotives, qui, ayant à se traîner elles-mêmes, ont à vaincre non-seulement l'accroissement de résistance de charge, mais encore l'accroissement de résistance provenant de leur propre poids. Ainsi l'on admet assez généralement que l'usage des machines locomotives, sur une pente de plus de trois et demi centièmes, lors même qu'elles trouveraient sur le rail la résistance (adhérence) nécessaire pour tourner sans glisser, cesse d'être économique.

A la descente, le poids du chariot, qui, à la montée, l'entraînait en sens contraire du cheval, agit dans le même sens que celui-ci, et, si la pente est un peu rapide, le cheval est obligé de retenir les chariots, au lieu de les traîner, et consomme sa force en pure perte. C'est alors que, sur les chemins de fer, on se passe de moteur, ou que même, si la pente devient assez forte, on utilise, au moyen de mécanismes que nous avons indiqués (voir page 70), l'excès de poids nuisible sur les routes[1].

Jusqu'à présent nous avons supposé que le chemin suivait une ligne droite ; *les circuits engendrent de nouvelles résistances.*

La force que l'on connaît sous le nom de force *centrifuge*, et qui se développe lorsqu'un corps prend un mouvement curviligne, tend à jeter contre le mur le cavalier galopant autour d'un manége et

[1] Il ne faudrait pas s'imaginer cependant que les frais de transport sur les chemins de fer, à la descente, lorsque la pente dépasse une certaine limite, soient tout à fait nuls. La pente étant de cinq à quinze millièmes, les chariots descendent, il est vrai, d'eux-mêmes, sans qu'on emploie aucun moteur pour les traîner; mais il faut ensuite les ramener en montant. Sur le chemin de Darlington, on a eu l'heureuse idée de faire descendre les chevaux qui traînaient les chariots à la montée, dans de petits waggons-écuries ; de cette manière ils n'éprouvaient aucune fatigue pendant une partie de la journée ; ils paraissaient même trouver beaucoup de plaisir à ce genre de promenades, et, en les ramenant ainsi en voiture, on avait augmenté d'un tiers leur travail utile à la montée. Aujourd'hui les chevaux ont été, sur ce chemin, remplacés par des machines locomotives.

Sur les plans *automoteurs*, la gravité ou la pesanteur est le seul moteur employé. Ce moteur ne coûte rien, mais la dépense pour l'entretien des cordes, poulies, etc., équivaut à celle qu'occasionnerait l'emploi d'une machine locomotive sur un terrain de niveau.

oblige la pierre lancée par une fronde à se mouvoir en ligne droite ; cette force tend aussi à entraîner en ligne droite le chariot qui décrit une courbe, et elle agit avec d'autant plus d'énergie que la vitesse est plus considérable et que le rayon de la courbe est plus petit. Sur une route ordinaire, comme il est rare que l'on marche très-rapidement et que d'ailleurs le frottement contre le terrain oppose généralement une résistance suffisante à la force centrifuge, elle n'a d'autre effet que de faire verser les voitures lorsqu'on veut tourner trop court. Sur un chemin de fer elle chasse, dans les circuits formés de deux files courbes de rails, les roues contre les rails de la plus grande courbe, et donne lieu, de cette manière, à un frottement de leurs rebords contre ces rails. Plus la vitesse est grande et le rayon de la courbe petit, plus cette résistance est considérable.

En outre, deux nouveaux frottements résultent, sur un chemin de fer courbe, de la construction même des waggons.

L'un de ces frottements a pour cause immédiate la construction même du système de rotation. Les roues, étant fixées aux essieux, doivent nécessairement, en vertu de cette disposition, effectuer toujours le même nombre de tours que l'essieu dans sa boîte ; mais, comme dans une courbe les deux rails sont d'inégales longueurs, les roues n'ont pas la même distance à parcourir : celle que guide le rail le plus éloigné du centre de la courbe serait obligée, si elle était libre sur son axe, de faire, pour compenser cette différence de parcours, un plus grand nombre de tours ; or, comme cela est impossible, il s'ensuit que les roues, en effectuant leur mouvement de rotation, exécutent pendant le passage des courbes un mouvement de glissement en avant ou en arrière, suivant la position respective des roues.

Le second frottement résulte de la position des essieux dans leurs boîtes, position qui ne leur permet pas de converger vers le centre de la courbe, comme ils le feraient s'ils étaient libres.

Ces résistances n'ont pas lieu sur les routes ordinaires, où l'on se sert de voitures dont le train de devant peut tourner librement, et dont les roues, portées sur un même essieu, peuvent, dans le même temps, faire des nombres de tours différents.

On a imaginé différents moyens pour contre-balancer ou détruire l'effet de ces résistances; mais aucun, jusqu'à présent, ne parait atteindre parfaitement le but, du moins sur les chemins de fer que l'on veut parcourir à de grandes vitesses.

Il en résulte qu'un chemin de fer sur lequel on veut marcher rapidement n'admet pas de courbes d'un aussi petit rayon qu'une route ordinaire.

On voit donc en résumé par ce qui précède :

1° *Que la construction des chemins de fer pour les transports à grande vitesse est particulièrement avantageuse dans les pays de plaine ou faiblement accidentés, puisque c'est dans ces pays surtout qu'il est facile de remplir les deux conditions sans lesquelles on ne peut marcher rapidement et économiquement avec des machines locomotives, savoir : une faible inclinaison des rampes et des courbes de très-grand rayon.*

On est cependant parvenu, au moyen d'immenses travaux, à établir des chemins de fer à grande vitesse dans des pays assez fortement accidentés; mais ils ne sont avantageux, financièrement parlant, qu'autant que la circulation y est très-active.

2° *Que la construction des chemins de fer offre des avantages d'une autre nature, mais qui ne sont pas moins grands, pour le transport des marchandises, lorsque le terrain est sensiblement incliné et que les chariots descendent avec de fortes charges, remontent à vide ou avec de faibles charges.*

Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque, sur un terrain incliné, les plus fortes charges montent, tandis que les plus faibles descendent, ou lorsqu'il y a égalité de mouvement commercial dans les deux sens, la construction d'un chemin de fer peut encore être motivée comme moyen d'employer les machines à vapeur fixes au transport des marchandises; mais elle devient généralement sans application au transport des voyageurs à grande vitesse. Jusqu'à ce jour les machines fixes n'ont été employées à remorquer les voyageurs sur des rampes très-inclinées que pour des portions de lignes très-courtes, et aujourd'hui elles sont presque partout abandonnées, même pour le remorquage des trains de marchandises.

3° *Que, dans les pays très-accidentés (pays de hautes montagnes), où il est impossible ou très-difficile d'éviter les circuits prononcés et les fortes rampes dans des sens divers ou dans celui du mouvement, le chemin de fer perd la plus grande partie de ses avantages sur la route ordinaire et devient à peu près impraticable.*

CHAPITRE IV

DU TRACÉ DES CHEMINS DE FER

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ET PRINCIPES QUI PRÉSIDENT A L'ÉTUDE DES TRACÉS

Parmi les problèmes que soulève l'exécution des chemins de fer, il n'en est pas de plu simportant que la détermination de leur tracé.

Si les chemins de fer sont destinés à exercer une influence bienfaisante sur l'avenir de notre industrie et de notre commerce, sur l'avenir même de notre civilisation, ce n'est qu'à la condition d'être bien conçus, bien tracés. Un chemin de fer, il ne faut pas l'oublier, est un aimant qui attire à lui toute l'activité commerciale et industrielle du pays dans un cercle fort étendu. Si donc il vivifie les contrées qu'il traverse, il appauvrit au contraire celles dont il s'éloigne, et, s'il est mal tracé, non-seulement il donne lieu à un gaspillage de la fortune publique, mais encore il peut jeter la perturbation la plus fâcheuse dans la distribution de notre richesse nationale. et, tout en étant une cause de prospérité pour quelques-uns, devenir, pour un grand nombre, un instrument de ruine. On ne saurait par conséquent étudier le tracé des chemins de fer avec trop de soin[1].

Longtemps l'étude des tracés, abandonnée en France et en Angleterre aux ingénieurs, s'est faite sous l'empire d'idées trop exclu-

[1] Les rapports de M. le comte Daru à la Chambre des pairs sur le tracé de plusieurs de nos grandes lignes de chemins de fer renferment les plus hautes considérations sur la question du tracé des chemins de fer, exposées avec une grande lucidité. Nous ne connaissons aucun document imprimé dont la lecture soit d'un plus vif intérêt pour les personnes qui s'occupent de cette question.

sives. On s'est appliqué à atteindre une perfection artistique excessivement coûteuse, sans songer que la question n'était pas purement technique, mais qu'elle était aussi commerciale, politique, et même militaire.

On comprend effectivement que s'il importe de faire disparaître autant que possible, dans le tracé des routes, les inégalités du sol au moyen de tranchées, de souterrains, de remblais ou de viaducs, il n'est pas moins essentiel de proportionner la dépense aux produits et de ne jamais perdre de vue l'intérêt politique ou commercial et les exigences de la stratégie.

Que l'on se propose, par exemple, de construire un chemin de fer pour une circulation médiocrement active et dont l'avenir est incertain, convient-il, dans ce cas, pour éviter les pentes trop roides, d'aplanir le terrain à grands frais, de couper ou de percer les montagnes pour adoucir les contours du chemin? Non certes, il vaut mieux alors gravir des rampes un peu plus inclinées et tourner brusquement autour des contre-forts : la dépense d'exploitation, qui, en définitive, ne se compose pas uniquement des frais de traction, mais qui comprend également les frais généraux, l'intérêt et l'amortissement du capital, en sera amoindrie, et l'entreprise en sera plus fructueuse.

Ce calcul du rapport des produits au capital engagé, que font les spéculateurs, ne saurait être indifférent au gouvernement, qui administre la fortune de tous[1]; mais ses prévisions n'ont pas, comme celles des spéculateurs, le temps pour limite. Il doit donc souvent sacrifier le présent à un avenir éloigné, mais certain, auquel ne songent guère les capitalistes pressés de jouir, et n'oublier jamais que ce n'est pas seulement en grossissant par ses produits les recettes du Trésor qu'une voie de communication est utile au pays, mais aussi en contribuant à l'accroissement du bien-être général, en répandant les bienfaits de la civilisation dans les provinces qu'elle traverse, en facilitant l'action d'une administration éclairée, et enfin en servant aux mouvements des troupes qui protégent le territoire.

[1] Voir, plus loin, l'opinion exprimée sur cette question par M. le comte Daru

C'est sous l'empire de ces principes que le gouvernement anglais, dans un pays où les travaux productifs sont livrés aux Compagnies, a construit la grande route de Holyhead, afin d'activer les relations de la métropole avec l'Irlande, et que le gouvernement français a contribué pour une part considérable à l'établissement du chemin de fer de Paris à Strasbourg, qui sert en même temps à favoriser notre commerce avec l'Allemagne et à porter rapidement, en cas de guerre, nos troupes vers la frontière de l'est.

On voit qu'un bon tracé doit remplir un grand nombre de conditions souvent incompatibles et qui se dérobent à une saine appréciation; ce serait par conséquent tenter l'impossible que de vouloir établir des règles absolues pour les déterminer.

Mais l'expérience acquise, quelque courte qu'elle soit, a déjà fourni certaines données qui, sans conduire directement et par une voie sûre à la solution du problème, contribuent à en diminuer les difficultés.

C'est dans l'exposé de ces données que consiste aujourd'hui toute la théorie du tracé des chemins de fer.

Les premières études d'un chemin de fer se font dans le cabinet et sur de bonnes cartes.

Plusieurs directions se présentent au premier abord pour une même ligne, toutes semblant offrir des avantages à peu près égaux, et il est assez difficile de se prononcer pour l'une d'elles, de préférence aux autres. On ne pourrait en effet citer aucun chemin de fer pour lequel d'habiles ingénieurs n'aient proposé de suivre des directions différentes, et défendu leurs tracés par des arguments en apparence également bons.

Une Compagnie ou un gouvernement ne peut pas faire étudier le terrain dans toutes les directions possibles, ou même dans toutes celles qui paraissent à première vue également avantageuses. Il faut que les ingénieurs chargés de rédiger les projets fixent leur choix, et, pour cela, ainsi que pour la comparaison des tracés étudiés, ils seront utilement guidés par la connaissance de certains faits que nous devons d'abord passer en revue, et qui nous conduisent à établir les principes les plus généralement admis en matière de tracés.

Tracés directs. — Lorsque, pour la première fois, l'administration des ponts et chaussées s'occupa en France du tracé des grandes lignes de chemins de fer, elle parut disposée à adopter les tracés les plus directs d'une extrémité à l'autre de la ligne ; mais alors les localités intermédiaires n'étaient pas desservies, ou ne l'étaient que par de simples embranchements.

Ainsi elle approuva le projet d'un tracé direct de Paris au Havre, qui ne desservait Rouen que par un embranchement.

Plus tard même elle autorisa l'exécution du chemin de Bâle à Strasbourg, qui passe à de grandes distances d'une partie des localités les plus importantes de la haute Alsace, et celle du chemin de Dijon à Châlons, auquel on reproche de négliger plusieurs villes ou villages qu'il aurait dû toucher ou même traverser.

Sans doute il est essentiel de raccourcir le trajet entre les deux points extrêmes d'une grande ligne, quand ce sont des villes de première classe, des centres d'activité du premier ordre ; sans doute le temps est aujourd'hui devenu si précieux, que quelques heures de plus ou de moins du Havre à Marseille peuvent influer sur l'avenir du commerce de l'Angleterre avec l'Afrique ou avec l'Inde, et conserver à la France ou faire dévier sur l'Allemagne le grand courant que le commerce fera naître inévitablement lorsque la mer Rouge communiquera plus facilement avec la Méditerranée ; mais on a, dans cette pensée, beaucoup trop amoindri l'importance des localités intermédiaires. C'est ce qu'a le premier démontré M. Minard, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, dans un travail sur la statistique des chemins de fer.

Les notes suivantes sur le rapport du parcours partiel des voyageurs au parcours de la ligne entière sont en partie extraites de ce travail.

Parcours partiel sur diverses voies de transport.

DÉSIGNATION DES CHEMINS OU PARTIES DE CHEMIN	RAPPORT DU PARCOURS PARTIEL A LA CIRCULATION GÉNÉRALE.	RAPPORT DES VOYAGEURS DU PARCOURS PARTIEL A TOUS LES VOYAGEURS.	TOTALITÉ DES VOYAGEURS DANS L'ANNÉE.
CHEMINS DE FER FRANÇAIS.			
Paris à Saint-Germain (année 1852).	0,61	0,65	2,186,000
Paris à Versailles, rive droite (année 1851). .	0,65	0,75	2,127,529
Paris à Corbeil (1841).	0,40	0,59	866,000
Lyon à Saint-Étienne (1851, 2e semestre). . .	0,66	0,85	357,354
Nîmes à Beaucaire (1841). (Extrait du tableau de M. Minard.).	»	0,14	211,000
Nîmes à Alais. (Extrait du tableau de M. Minard.)	»	0,51	111,000
Strasbourg à Colmar (année 1846).	0,75	0,90	296,883
Id. à Mulhouse. *Id.*	0,86	0,96	536,578
Id. à Bâle. *Id.*	0,87	0,97	749,424
Montpellier à Cette (année 1851).	0,20	0,37	167,628
Paris à Rouen (1852, 2e semestre)	0,50	0,68	564,551
Rouen au Havre (du 1er mars au 31 août 1852).	0,41	0,70	228,498
Paris à Creil (année 1852).	0,91	0,98	1,428,730
Id. à St-Quentin. *Id.*	0,90	0,98	1,817,603
Id. à Amiens. *Id.*	0,79	0,96	1,680,506
Id. à Boulogne. *Id.*	0,76	0,96	1,902,867
Id. à Douai. *Id.*	0,91	0,95	1,845,389
Id. à Quiévrain. *Id.*	0,79	0,97	2,078,541
Id. à Mouscron. *Id.*	0,92	0,99	2,650,980
Id. à Calais. *Id.*	0,88	0,98	2,391,991
CHEMINS DE FER BELGES. (Extrait du tableau de M. Minard.)			
Bruxelles à Malines (juin, 1858)	0,25	0,35	312,000
Id. à Anvers. *Id.*	0,50	0,71	1,010,000
Id. à Gand. *Id.*	0,62	0,84	990,000
Id. à Liége. *Id.*	0,66	0,91	1,118,000
Gand à Malines. *Id.*	0,65	0,84	»
Id. à Louvain. *Id.*	0,80	0,90	»
Id. à Liége. *Id.*	0,90	0,98	809,000
Id. à Anvers. *Id.*	0,75	0,91	638,000
Anvers à Malines. *Id.*	0,34	0,50	121,000
Id. à Liége. *Id.*	0,75	0,94	»
Louvain à Liége. *Id.*	0,74	»	»
Id. à Warenne. *Id.*	0,91	0,95	»
Bruxelles à Tubise (1840, six mois).	0,66	»	»
Tous les chemins belges ensemble (juin 1842).	0,67	»	4,205,860

Parcours partiel sur diverses voies de transport.

(SUITE.)

DÉSIGNATION DES CHEMINS OU PARTIES DE CHEMIN.	RAPPORT du parcours partiel à la circulation générale.	RAPPORT des voyageurs du parcours partiel à tous les voyageurs.	TOTALITÉ des voyageurs dans l'année.
CHEMINS DE FER ANGLAIS. (Extrait du tableau de M. Minard.)			
Grand junction Railway (juin, 1841).	0,46	0,89	550,000
Londres à Southampton (juillet et août 1841).	0,45	0,79	679,000
Londres à Birmingham (janvier, 1843). . . .	0,40	0,70	2,490,000
Id. à Blakwal, au moins.	0,68	0,77	490,000
North Midland (moitié 1841-1842).	0,59	0,84	460,000
CHEMINS DE FER ALLEMANDS.			
Leipzig à Dresde (année 1852).	0,45	0,71	452,264
Dresde à Gorlitz. *Id.*	0,65	0,88	446,521
Vienne à Brunn (1840). (Extrait du tableau de M. Minard.).	0,48	0,86	84,000
Francfort à Wisbaden (1841). (Extrait du tableau de M. Minard.).	0,60	0,68	709,000
CHEMINS DE FER AMÉRICAINS. (Extrait du tableau de M. Minard.)			
Schenectady à Utica (1838)..	0,20	0,46	155,000
Frédericksburg à Richmond (1841).	0,21	»	»
New-York à Philadelphie.	0,66	0,80	405,000
TRANSPORTS PAR DILIGENCE ORDINAIRE. (Extrait du tableau de M. Minard.)			
Route de Paris à Lille.	0,71	0,94	364,000
Id. de Paris à Strasbourg.	0,86	0,98	294,000
Id. de Paris à Rouen.	0,67	0,91	749,000
Id. de Toulouse à Perpignan.	0,57	»	»
Id. de Toulouse à Nimes..	0,74	»	»
TRANSPORTS PAR EAU. (Extrait du tableau de M. Minard.)			
Canal du Midi, barque de poste (1839). . . .	0,75	0,92	84,000
Paris à Rouen, bateaux à vapeur, etc. . . .	0,70	0,90	300,000
D'Orléans à Nantes. *Id.* . . .	0,76	»	»
Châlons à Lyon. *Id.* . . .	0,64	0,80	500,000
Compiègne au Pec. *Id.* (1839).. . . .	0,60	0,81	20,000

Il résulte de ce tableau que la circulation locale pour les chemins de faible longueur, comme ceux de Saint-Germain et Versailles, est beaucoup plus importante que l'on eût été tenté de le supposer, eu égard à la courte distance qui sépare les villages desservis par les stations, et à leur faible population[1], et que, sur de grandes lignes comme le chemin du Nord, elle est proportionnellement plus grande que sur les petites lignes. Le nombre des voyageurs compense, en général, pour de courtes distances, jusqu'à un certain point, la longueur du parcours.

Si, sur les chemins de Montpellier à Cette et de Nîmes à Beaucaire, le parcours partiel est comparativement faible, cela tient à ce que ces deux lignes ne traversent, *par exception*, entre les points extrêmes, que des lieux presque déserts.

Si la dépense était la même pour le transport d'un voyageur du parcours partiel que pour un voyageur du parcours total, le rapport entre les distances parcourues par ces deux espèces de voyageurs, rapport fourni par la première colonne de notre tableau, serait aussi celui des produits nets en argent du transport de ces voyageurs ; mais il faut remarquer : 1° que le nombre de voyageurs de parcours partiel qui se servent de voitures de seconde et de troisième classe de préférence à celles de première est notablement plus grand que celui des voyageurs de parcours total, et que, par conséquent, la taxe moyenne que paye chaque voyageur est moindre ; 2° que l'exploitation des localités intermédiaires augmente considérablement le rapport du nombre des places vides à celui des places occupées, et devient, sous ce rapport, onéreuse à l'exploitation.

L'influence de la longueur du parcours sur le choix des places et sur la taxe moyenne ressort du tableau suivant :

[1] Lors de la publication du mémoire de M. Minard, en 1842, le rapport du parcours partiel à la circulation générale n'était, sur le chemin de Saint-Germain que de 0,27, et sur le chemin de Versailles (rive droite) que de 0,28. En 1852, d'après notre tableau, le rapport pour le chemin de fer de Saint-Germain s'était élevé à 0,61, et pour le chemin de Versailles (rive droite) à 0,65. Ces chiffres montrent avec quelle rapidité l'établissement des chemins de fer a développé le parcours partiel. Le chemin de Strasbourg n'est livré au public que depuis trois ans, et déjà le mouvement des stations de la banlieue est presque double de ce qu'il était la première année.

Parcours moyen d'un voyageur.

PARCOURS MOYEN D'UN VOYAGEUR.	CHEMINS ALLEMANDS.	CHEMINS BELGES.	CHEMINS ANGLAIS.	CHEMIN DU NORD.	CHEMIN DE L'EST.	CHEMIN DE LYON.	CHEMIN D'ORLÉANS.	CHEMIN DE LA MÉDITERRANÉE.	CHEMINS AUTRICHIENS.	CHEMIN DU MIDI.
	1850 [*]	1850 [*]	1845 [*]	1855	1855	1855	1853	1855	1855	1855
1re classe.	57	59 5	42	»	155	»	186	149	126	»
2e classe.	51	45	22	»	76	»	87	70	85	»
3e classe.	28	26	18	»	59	»	67	47	52	»
Parcours moyen d'un voyageur moyen.	45 85	»	»	59	69	101	86	75	65	66

Quant à l'accroissement des frais provenant du parcours partiel, un raisonnement bien simple le mettra en évidence. Un convoi composé de dix voitures remorquées par une seule locomotive peut transporter 400 voyageurs de Paris à Versailles; 800 voyageurs transportés à moitié chemin dans des voitures de même classe donneront le même produit brut; mais, pour transporter ces 800 voyageurs, il faudra 20 voitures et 2 locomotives, qui, bien que les waggons ne parcourent que la moitié de la longueur totale du railway, devront faire le trajet dans son entier. Le produit brut restera donc le même et la dépense sera doublée.

Observons toutefois que ceci n'est qu'un cas extrême admis pour mieux faire ressortir la vérité de notre assertion; car, généralement, partie au moins des voyageurs du petit parcours sont remplacés par des voyageurs partant des stations intermédiaires.

Ainsi, tout en appelant l'attention sur l'importance du rôle que jouent les produits des localités intermédiaires sur un grand nombre de lignes, nous ne prétendons pas qu'il faille dévier une grande ligne pour lui faire desservir les moindres bourgs; nous recomman-

[*] Nous n'avons pas pu nous procurer des renseignements plus récents.

dons au contraire de bien fixer la valeur des produits que peut fournir une localité avant de lui sacrifier la rapidité ou l'économie du parcours entre les localités extrêmes; ayant bien soin de tenir compte autant du parcours moyen de chaque voyageur que du nombre de voyageurs.

C'est ainsi que la Compagnie de l'Est a cru devoir, en étudiant le tracé du chemin entre Paris et Mulhouse, le faire passer à plusieurs kilomètres de la ville de Provins, parce qu'elle a reconnu que pour toucher à cette ville il eût fallu se jeter dans des dépenses qui n'étaient nullement en rapport avec l'accroissement de produit auquel ce détour aurait donné lieu.

Dans ces sortes de calculs, il faut avoir égard au transport des marchandises autant qu'à celui des voyageurs. Le transport des marchandises sur les chemins de fer ne devient ordinairement avantageux que lorsque la distance dépasse un certain nombre de kilomètres. Aussi le parcours moyen d'une tonne de marchandises est-il, sur nos principales lignes, plus grand que celui d'un voyageur. C'est ce que prouve le tableau suivant :

Parcours kilométrique d'un voyageur et d'une tonne de marchandises.

UNITÉ DE COMPARAISON.	NORD.	EST.	LYON.	ORLÉANS.	MÉDITERRANÉE.	MIDI.
Parcours moyen d'un voyageur.	59	69	101	86,64	75,20	66
Parcours moyen d'une tonne de marchandises. . . .	171	197	249	226,78	150,19	

Il ne faudrait pas croire cependant que le transport des marchandises, à de petites distances, soit insignifiant. Il résulte des tableaux publiés par M. Teisserenc sur le mouvement commercial des chemins de York à Darlington, et de Saint-Étienne à Lyon, que, sur le premier de ces chemins, dont la longueur n'est que de 72 kilomètres, moitié du tonnage en marchandises, à l'époque où il pu-

bliait son ouvrage, appartenait au parcours partiel, et que, sur le second, long de 57 kilomètres, le mouvement local représentait les deux tiers du mouvement total.

Sur le chemin de Manchester à Crewe, qui n'a que 48 kilomètres de longueur, le développement de la circulation intermédiaire en marchandises a été bien plus rapide que le développement du trafic des marchandises de long parcours. En voici le résumé, que nous empruntons encore à l'ouvrage de M. Teisserenc.

Chemin de fer de Manchester à Crewe.

(Première section du railway de Birmingham à Manchester.)

EXERCICES D'EXPLOITATION.	MARCHANDISES	
	PROVENANT OU A DESTINATION DU GRAND-JUNCTION, C'EST-A-DIRE PARCOURANT TOUT LE TRAJET DE MANCHESTER A CREWE.	APPARTENANT AUX STATIONS INTERMÉDIAIRES DE LA LIGNE.
1er semestre de 1843. . .	13,966 tonnes.	1,154 tonnes.
2e — . . .	18,910 —	5.437 —
1er semestre de 1844. . .	24,371 —	12,548 —
2e — . . .	25,166 —	23,560 —
1er semestre de 1845. . .	34,035 —	32,005 —
2e — . . .	37,724 —	41,553 —
1er semestre de 1846. . .	47,979 —	89,681 —

Nous ne possédons pas de renseignements plus récents sur ce chemin.

Le tableau suivant, extrait de l'ouvrage de M. Belpaire, vient, aussi bien que ceux de M. Teisserenc, à l'appui de notre opinion.

TRANSPORT DES GROSSES MARCHANDISES SUR LES CHEMINS BELGES EN 1844.

A 5 kilomètres,	15,647	tonnes,	dont 14,976 de Liége à Ans.
10 —	12,847	—	dont 6,754 de Chenie à Ans.
15 —	3,968	—	
20 —	40,646	—	dont 19,374 de Tournay à Mouscron.
25 —	25,069	—	dont 19,265 de Liége à Verviers.
30 —	5,014	—	
35 —	23,256	—	

40	—	35,042	—	dont 29,866 de Liége à Herbestal et retour.
45	—	41,206	—	
50	—	5,603	—	
55	—	3,506	—	
60	—	7,370	—	
65	—	9,183	—	
70	—	4,408	—	
75	—	14,655	—	
80	—	4,776	—	

On est frappé du chiffre des transports à des distances de 5 et 10 kilomètres seulement; nous ferons observer qu'ils s'effectuent dans des conditions exceptionnelles sur un plan incliné, vers le village d'Ans, qui doit être considéré comme le faubourg de Liége. Le transport par la route de terre, sur cette rampe, est très coûteux; c'est ce qui permet au chemin de fer de soutenir la lutte.

Sur le chemin d'Alsace, le mouvement total des grosses marchandises, qui était, en 1846, de 56,595 tonnes environ, s'est distribué de la manière suivante :

De Strasbourg à Bâle ou Saint-Louis, remonte et descente			1,875	seulement.
Id. à Mulhouse,		*id.*	13,394	—
Id. à Colmar,		*id.*	3,530	—
Id. à Thann,		*id.*	3,442	—
Id. à Schelestadt,		*id.*	666	—
De Mulhouse à Bâle ou Saint-Louis,		*id.*	10,505	—
Id. à Colmar,		*id.*	4,854	—
Id. à Thann,		*id.*	3,492	—
Id. à Schelestadt,		*id.*	1,028	—
De Colmar à Bâle ou Saint-Louis,		*id.*	1,186	—
Id. à Thann,		*id.*	1,197	—
Id. à Schelestadt,		*id.*	130	—
De Thann à Bâle ou Saint-Louis,		*id.*	189	—
Id. à Schelestadt,		*id.*	180	—
De Schelestadt à Saint-Louis ou Bâle,		*id.*	714	—
De Strasbourg aux différentes stations de 2e et 3e ordre.		*id.*	5,402	—
De Mulhouse,	*id.*	*id*	2,806	—
De Colmar,	*id.*	*id.*	1,011	—
De Thann,	*id.*	*id.*	454	—
De Schelestadt,	*id.*	*id.*	900	—
De Saint-Louis à Bâle,	*id.*	*id.*	1,262	—
Mouvement entre les stations de 2e et 3e ordre,		*id.*	182	—
		TOTAL	56,395	seulement[1].

[1] Depuis cette époque, la Compagnie a cessé de faire le relevé du tonnage partiel

On remarquera en parcourant le tableau qui précède :

1° Que la quantité de marchandises qui parcourt la totalité de la ligne de Strasbourg à Bâle, ou de Bâle à Strasbourg, n'est qu'une fraction très-faible de la masse qui circule sur le chemin ;

2° Que le mouvement entre Strasbourg et Mulhouse n'atteint pas le quart du mouvement total ;

3° Que le mouvement de Mulhouse à Bâle en est à peu près le sixième ;

4° Que la circulation à laquelle donnent lieu les stations de second et troisième ordre, quelque faible que soit leur importance sous le rapport de la population, est environ le sixième de la circulation totale.

Sur le chemin de Paris à Strasbourg, le transport des marchandises entre les localités intermédiaires et à de petites distances est également productif. On en jugera par le relevé du mouvement pendant les mois de juillet, août et septembre 1854.

MOUVEMENT DES MARCHANDISES SUR LA LIGNE DE PARIS A STRASBOURG PENDANT LES MOIS DE JUILLET, AOUT ET SEPTEMBRE 1854.

			Mouvement total.
Mouvement	des stations extrêmes entre elles	8,184	95,900 tonnes.
Id.	des stations extrêmes aux stations intermédiaires et de ces dernières entre elles	87,716	
Id.	des stations extrêmes à toutes les stations	29,825	95,900 —
Id.	des stations intermédiaires à toutes les stations	66,075	
Id.	réciproque des gares extrêmes à toutes les stations	68,115	95,900 —
Id.	des stations intermédiaires entre elles	27,785	

MOUVEMENTS PARTIELS PENDANT LE MÊME TEMPS ENTRE CERTAINES STATIONS À DE TRÈS-PETITES DISTANCES.

Entre Lagny et Meaux	(17 kilomètres). . . .	188 tonnes.
La Ferté et Château-Thierry	(29 —). . . .	392 —
La Ferté et Nogent	(19 —). . . .	103 —
Château-Thierry et Dormans	(22 —). . . .	489 —
Dormans et Épernay	(25 —) . . .	1906 —
Bar et Nançois	(11 —). . . .	39 —
Nancy et Blainville	(24 —). . . .	53 —
Sarrebourg et Saverne	(27 —). . . .	219 —
Steinbourg et Hochfelden	(12 —). . . .	57 —

De ce qui précède il résulte que, bien que le produit du trafic intermédiaire ne soit pas tout à fait aussi grand qu'il peut le paraître à la seule inspection du tableau de M. Minard, il n'en est pas moins considérable autant pour les marchandises que pour les voyageurs. *Il serait, par conséquent, en même temps impolitique et préjudiciable aux intérêts financiers de l'État comme à ceux des Compagnies de sacrifier, ainsi qu'on l'a fait sur certaines lignes précitées, les intérêts des localités intermédiaires à ceux des points extrêmes.*

Si d'ailleurs les besoins du commerce rendent la construction des lignes directes nécessaire, on ne tardera pas à les établir malgré l'existence de celles qui s'en écartent peu. Il n'y a pas douze ans que le chemin de fer de Londres à York par Birmingham est ouvert au public, et déjà l'on a construit une ligne plus directe pour abréger le chemin de 64 kilomètres. En France, le chemin de Lyon s'éloigne du tracé direct pour passer à Dijon, tandis que le chemin du Nord, de Paris à Calais, fait un détour de 21 kilomètres pour passer à Pontoise, de 37 kilomètres pour desservir Lille et ses environs, et que le chemin d'Orléans ne conduit à Nevers que par un long circuit; mais l'activité du service a déjà fait décider l'exécution d'un chemin de Paris à Creil et d'un chemin d'Arras à Hazebrouk, ce qui raccourcirait le trajet de Paris à Calais de 58 kilomètres. Une Compagnie a entrepris la construction d'une ligne de Paris à

Lyon abrégeant de 70 kilomètres le parcours entre ces deux villes, ainsi que celui de Paris à Nevers, de 65 kilomètres, et le gouvernement a décidé l'exécution d'un chemin de Paris à Mulhouse, afin de raccourcir de 128 kilomètres le voyage que l'on fait aujourd'hui par les voies de fer de Paris à Strasbourg et de Strasbourg à Bâle. Ce chemin réduira aussi de 61 kilomètres le trajet par Dijon et Besançon.

M. Courtois, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a combattu l'opinion soutenue par M. Minard : il s'est attaché à démontrer qu'il ne faut pas dévier les grandes lignes pour toucher quelques petites villes, bourgs ou villages qui peuvent se trouver à proximité de la direction à suivre. Nous ne pensons pas que M. Minard ait voulu contester l'importance des longs parcours et nier la nécessité de les favoriser en raccourcissant les distances. Ce que M. Minard a essayé de démontrer, et ce que, selon nous, il a parfaitement établi par ses tableaux, c'est que jusqu'alors on s'était fait une fausse idée de l'importance des localités intermédiaires lorsque, pour abréger de quelques kilomètres le parcours de Paris au Havre, on faisait passer la ligne principale à une assez grande distance d'une ville comme Rouen, ou encore quand, pour gagner quelques minutes sur le trajet d'une grande ville à une autre, on rendait le service des points intermédiaires tellement difficile, que l'on risquait d'ôter aux voyageurs de ces localités toute envie de se déplacer. C'est aussi notre opinion et celle d'un grand nombre d'ingénieurs.

Les faits suivants, que nous empruntons à la dernière édition de l'ouvrage de Lardner, intitulé *Railway Economy*, et publié en 1850, prouvent enfin surabondamment la grande importance des transports à de petites distances, pour les marchandises en même temps que pour les voyageurs.

Sur les chemins belges, en 1849, 40 pour 100 de la totalité des voyageurs n'avaient parcouru que des distances inférieures à 32 kilomètres, et 73 pour 100 des distances de 64 kilomètres. Le parcours kilométrique des premiers forme 16 pour 100 du parcours total, et celui des seconds, 46 pour 100; 5 pour 100 seulement parcourent des distances dépassant 127 kilomètres, et leur parcours kilométrique n'est que de 17 pour 100 du parcours total.

34 pour 100 des marchandises transportées parcourent des distances de moins de 40 milles (64 kilomètres), et 60 pour 100 des distances de moins de 20 milles (32 kilomètres). Le parcours kilométrique des premières est de 11 pour 100 du parcours total, et des secondes, de 31 pour 100; 12 pour 100 seulement des marchandises sont transportées à des distances de plus de 80 milles (128 kilomètres), et leur parcours kilométrique est de 50 pour 100 du parcours total.

Tracés des vallées et des plateaux. — Les tracés directs écartés en principe, on s'est demandé s'il convenait d'établir les chemins de fer à côté des rivières et des canaux. Les opinions se sont trouvées partagées. Les uns prétendaient que les chemins de fer, dans le voisinage des canaux, feraient double emploi; qu'en les construisant dans les mêmes directions, on accumulerait les moyens de production sur quelques lignes, tandis qu'il valait mieux les disséminer autant que possible sur toute la surface du pays; que la lutte qui s'établirait alors entre les deux voies de communication rivales, si elle n'était préjudiciable à l'une et à l'autre en même temps, finirait par être mortelle à l'une des deux; qu'ainsi tous les capitaux enfouis dans l'établissement de la voie qui aurait succombé seraient anéantis.

D'autres, loin de considérer le voisinage des voies navigables comme nuisible aux chemins de fer, le déclarèrent avantageux. Les chemins de fer ne sont, à leurs yeux, que le complément des canaux. Ils sont appelés à transporter à grande vitesse les voyageurs et les marchandises de roulage, ce que ne peuvent faire les canaux; mais à ces derniers appartient exclusivement le transport des marchandises de peu de valeur, transport qui ne peut s'opérer économiquement par les chemins de fer; ces voies, loin d'être rivales, se prêtent donc un mutuel appui.

Sans vouloir revenir ici sur la question de l'antagonisme des canaux et des chemins de fer, question que nous avons traitée précédemment, nous signalerons ce fait, que l'on ne saurait méconnaître: *c'est qu'un grand nombre de lignes importantes de chemins de fer, en Angleterre, en France et en Belgique, sont parallèles à des voies navigables, ou du moins en sont peu distantes.*

Comment, en effet, pouvait-il en être autrement, lorsqu'on reconnaissait que les chemins de fer devaient avant tout desservir les grands centres de population, lesquels sont presque tous placés sur le bord de voies navigables, et que c'était par exception seulement qu'il convenait de les diriger, dans un but d'avenir ou par des considérations stratégiques, au travers de contrées stériles et à peu près désertes?

Les grands courants de voyageurs et ceux de marchandises le plus souvent se superposent : les chemins de fer deviennent donc nécessaires précisément dans les directions que suivent déjà les voies navigables.

Qu'il soit juste, qu'il soit paternel de distribuer aussi également que possible la richesse à tous les habitants d'un pays, nous ne le nions pas; mais chaque localité possède des avantages qu'on ne saurait lui ravir.

Peut-être nous objectera-t-on que les premières lignes de chemins de fer, celles de Darlington, Saint-Étienne, etc., n'ont pas été établies parallèlement à des voies navigables; nous répondrons que ce n'est pas à ce genre de chemins de fer, destinés plutôt au transport du charbon qu'à celui des voyageurs, que l'on a fait allusion lorsqu'on a proposé d'éloigner les chemins de fer des voies navigables. Il s'agissait alors des chemins de fer à grande vitesse pour le transport des voyageurs, et c'est aussi de ces chemins de fer exclusivement que nous entendons parler lorsque nous disons que les chemins de fer parallèles aux voies navigables très-fréquentées ont dû, à quelques exceptions près, mériter la priorité d'exécution.

M. le comte Daru, dans le rapport qu'il a rédigé sur le tracé du chemin de Lyon, exprime une opinion parfaitement semblable à la nôtre sur le parallélisme des chemins de fer et des voies navigables.

« Les voies à vapeur, dit-il, une fois leur classement arrêté, doivent être tracées dans le sens même et dans la direction que suivent aujourd'hui les grands mouvements de voyageurs et de marchandises, dirigés du centre sur les extrémités du territoire. Le signe distinctif des instruments nouveaux de locomotion étant une force d'attraction irrésistible, à laquelle tout cède, qui s'exerce à de longues distances, transforme toutes les industries, déplace toutes les

habitudes; il pourrait bien se faire que de graves intérêts fussent compromis, si le gouvernement ne s'appliquait pas à ménager les transitions, à empêcher les changements trop brusques dans la situation économique du pays, s'il n'intervenait pas dans ce but, en choisissant les tracés les plus propres à affecter les appareils locomoteurs aux besoins de la circulation déjà existante, sans essayer d'en troubler ni d'en contrarier le cours.

« Quels motifs, d'ailleurs, pourrait-il y avoir de lutter contre la pente naturelle des choses, et de créer, à l'aide d'un instrument nouveau, d'une manière artificielle et factice, une distribution nouvelle des richesses qui s'échangent entre les diverses parties d'un même empire?

« Vous le savez, messieurs, cette distribution des richesses ne s'opère pas au hasard, au gré et selon le caprice des producteurs ou des consommateurs. Presque toujours elle est le résultat nécessaire de la configuration même du pays, de l'existence des voies de communication naturelles ou artificielles, dirigées dans tel sens plutôt que dans tel autre, par suite des accidents du terrain, et aussi du degré de richesse ou de fertilité inégalement répartie entre des contrées différentes.

« A combien de résistances, d'obstacles, de mécontentements sans cesse renaissants, ne s'exposerait-on pas si l'on allait s'attaquer à ces habitudes anciennes, formées en quelque sorte d'elles-mêmes et nécessairement; si l'on avait la prétention de détruire ce que le temps a établi, de modifier ce que le cours naturel des choses a amené! Ne penserez-vous pas avec nous, messieurs, que ce serait là une œuvre bien difficile à entreprendre, une lutte bien dangereuse à entamer, et, par-dessus tout, une chose impolitique, également mauvaise et par l'effet matériel et par l'effet moral qu'elle produirait? Nous sommes donc d'avis qu'en thèse générale la meilleure direction d'un chemin de fer est celle qui se prête et se plie le mieux aux mouvements habituels de la circulation, qui en trouble le moins le cours, qui respecte le mieux la possession, les droits acquis, et va par conséquent chercher les voyageurs et les marchandises là où ils affluent, se porte là où les grands courants des transports ordinaires sont depuis plus longtemps établis et fixés. »

La préférence donnée par les ingénieurs aux grandes vallées arrosées par des cours navigables pour l'établissement des chemins de fer n'est pas absolue. On a reconnu qu'il pouvait être utile d'en établir, dans certains cas, sur des plateaux, perpendiculairement ou obliquement à ces vallées, et c'est surtout dans l'étude des nouvelles voies destinées à raccourcir le trajet que l'on s'est trouvé conduit à s'écarter des grands cours d'eau.

Ces voies transversales créent le trafic plutôt qu'elles ne profitent du trafic déjà existant.

Des chemins de ce genre déjà construits depuis plusieurs années, les plus remarquables sont : en Angleterre, ceux de Londres à Brighton et à Southampton, de Newcastle à Carlisle et de Bristol à Exeter; en Belgique, les lignes de Bruxelles à Valenciennes et de Bruxelles à Louvain, Liége et Cologne; en France, les chemins de Paris à Orléans, d'Orléans à Limoges, d'Orléans à Bordeaux, de Metz à Forbach.

Au nombre des nouvelles voies en construction aujourd'hui, il faut ranger les chemins de Blesmes à Gray et de Paris à Mulhouse.

Dans certains pays qui ne possèdent que peu ou point de navigation intérieure, comme l'Espagne, la Suisse, l'Italie, la Turquie, le principe que nous avons posé cesse de trouver son application, et le tracé des premières lignes importantes a dû prendre de préférence la direction que suit le roulage.

Emplacement des gares extrêmes. — Parmi les questions qu'a soulevées l'étude du tracé des grandes lignes de chemins de fer, il en est une qui a donné lieu à de nombreux débats, celle de savoir jusqu'à quel point il convenait de prolonger le tracé des chemins de fer dans l'intérieur des villes pour se rapprocher de leur centre d'activité.

C'est renoncer sans doute à une partie des avantages attachés à la construction des chemins de fer que de ne pas les prolonger jusqu'au milieu même des grands centres de population; mais à quelle énorme dépense n'entraîne pas l'établissement d'une gare de départ dans les quartiers commerçants d'une capitale! Nous indiquerons plus loin quelle vaste étendue de terrain cette gare doit occuper si l'on ne veut rendre l'exploitation en même temps difficile,

dangereuse et dispendieuse. Ce terrain seul et les constructions que nécessite le trajet du chemin de fer tout au travers de la cité peuvent coûter des sommes considérables.

La seule gare des voyageurs du chemin de Paris à Strasbourg, bien qu'établie dans un quartier voisin des barrières, où le terrain n'a pas encore acquis une très-grande valeur, a coûté à l'État environ 10,600,000 fr., dont 6 millions pour le terrain; 1,900,000 fr. pour les terrassements et ouvrages d'art; 2,900,000 fr. pour le bâtiment principal, les halles à marchandises et les remises; et à la Compagnie, depuis l'époque où elle a pris livraison du chemin, 776,500 fr.; ce qui fait pour la dépense totale d'établissement de cette gare, au 15 novembre 1854, 11,384,800 fr.[1].

La portion du chemin qui joint cette gare des voyageurs à la gare des marchandises de la Villette, bien que n'ayant pas au delà de près de 3 hectares, a coûté 3,110,000 fr.[2].

[1] Cette dépense se subdivise de la manière suivante :

DÉPENSES FAITES PAR L'ÉTAT.

Indemnités de terrains réglées par la décision du jury pour l'acquisition de 4 hectares 58 ares 75 centiares.	5,793,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art, murs de terrasses soutenant les terrains et rues qui entourent la gare.	1,148,000
Abaissement et reconstruction de la galerie de l'aqueduc Saint-Laurent, pavage et trottoirs des voies publiques ouvertes ou élargies aux abords de la gare.	418,000
Construction du bâtiment principal de la gare, y compris la halle couverte.	2,171,000
Construction de deux halles à marchandises grande vitesse et de deux remises pour les locomotives et les voitures.	198,800
Nivellements, pavages et trottoirs des cours, égouts, clôtures, pavillons de gardiens, réservoirs d'eau, quais de chaises de poste, latrines, etc.	520,500
Total.	10,608,500 fr.

DÉPENSES FAITES PAR LA COMPAGNIE.

Installations diverses des bureaux et logements, etc.	266,500 fr.
Hangars divers et déplacements des hangars en tête de la halle, bureau de la douane et logement des employés, agrandissement de la salle de bagages.	200,000
Nouveau bureau en surélévation.	100,000
Calorifères.	58,000
Éclairage au gaz.	85,000
Total	776,300 fr.

[2] On subdivise cette dépense comme suit :

Terrain, 2 hectares 9 ares 32 centiares.	1,773,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art.	1,337,000
Total.	3,110,000 fr.

Quant à la gare de la Villette, elle avait coûté à l'État, au moment où il l'a livrée à la Compagnie, 5,320,000 fr.[1]. Depuis cette époque, l'État a encore dépensé, pour de nouveaux hangars et des ateliers de carrosseries qu'il devait fournir à la Compagnie, 867,500 fr.[2]. La Compagnie elle-même a dépensé, pour différents travaux, 2,122,500 fr.[3].

En résumé, au 15 novembre 1854, la gare de Paris avait coûté,

tant à l'État qu'à la Compagnie.	11,384,800 fr.
La partie intermédiaire.	3,110,000
Celle de la Villette.	8,310,000
Les deux gares ensemble avec la portion de chemin qui les réunit.	22,804,800
Non compris les voies, plaques tournantes et changements de voies, dont on porte la valeur à.	1,400,000
Total..	24,204,800 fr.

Ces deux gares, toutes coûteuses qu'elles sont, suffiront-elles au service des chemins de Strasbourg et de Mulhouse? c'est ce qui est douteux. Déjà la Compagnie se propose de réunir ce dernier chemin à celui de Vincennes, afin de pouvoir débarquer une partie de ses voyageurs à la Bastille. Elle a acheté des terrains pour agrandir

[1] Cette dépense se compose des éléments suivants :

Terrain, 18 hectares 69 ares.	2,662,000 fr.
Terrassements et ouvrages d'art.	1,088,000
Halles à marchandises, cours et clôtures.	1,000,000
Remises de locomotives, remises de waggons et ateliers de petite réparation.	570,000
Total.	5,320,000 fr.

[2] Décomposés comme suit :

Nouvelles halles avec pavage.	307,500 fr.
Carrosserie et dépendances, magasin, maison d'habitation, etc.	560,000
Total.	867,500 fr.

[3] Décomposés comme suit :

Fondations de plaques, etc.	2,002,000 fr.
Installations diverses et appropriations..	48,000
Calorifères.	5,000
Éclairage des halles et des ateliers..	67,500
Total.	2,122,500 fr.

les gares de Paris et de la Villette, et elle a commencé des travaux importants dans le but d'y rendre le service plus facile[1].

Le devis des travaux restant à faire à Paris et à la Villette a été rédigé dans l'hypothèse d'agrandissements du réseau de l'Est. Ils n'auront lieu qu'au fur et à mesure de l'exécution de nouvelles lignes se rattachant à ce réseau.

Pour réduire autant que possible les frais de construction des gares extrêmes, et afin d'éviter les droits d'octroi pour les marchandises, on a placé les gares de marchandises des chemins qui partent de Paris en dehors du mur d'enceinte, et les gares de voyageurs à une assez grande distance du centre de la ville.

D'un autre côté, si l'éloignement des gares est sans importance réelle pour le public lorsque la ligne est d'une grande longueur, il y a lieu de craindre que les voyageurs obligés à de longs trajets en voiture pour parvenir aux nouvelles voies ne leur préfèrent, pour de courtes distances, les anciennes routes.

On ne doit donc fixer définitivement l'emplacement d'une gare extrême qu'après avoir comparé aussi bien que possible l'accroissement des dépenses provenant de son plus ou moins de proximité du centre d'une ville à l'accroissement probable des produits correspondants.

C'est en établissant ainsi la balance des dépenses et des revenus que la Compagnie du chemin de Saint-Germain a renoncé, très-sagement selon nous, au projet qu'elle avait formé de prolonger la voie jusqu'à la rue Tronchet, et celle du chemin de Versailles (rive gauche) jusqu'à la place Saint-Sulpice.

La Compagnie du chemin de Liverpool à Manchester a été conduite par un calcul semblable à une conclusion contraire : le che-

[1] La Compagnie, du 15 novembre au 1er avril 1855, a agrandi la gare des voyageurs

de 1,17 hectares, coûtant	1,423,900 fr.
Les constructions faites dans le même laps de temps ont coûté . .	26,000
Celles à faire, d'après les devis, coûteront	4,700,000
A la Villette, les terrains achetés depuis le 15 novembre 1854, mesurant une surface de 5,74 hectares, ont coûté.	726,500
Les dépenses faites pour constructions nouvelles, poses de voies, etc., s'élèvent à	2,001,500
Celles restant à faire sont estimées.	2,800,000
Total des dépenses faites ou à faire pour les deux gares. . .	11,677,900 fr.

min aboutissant à l'un des faubourgs de Liverpool, la Compagnie, au moyen de souterrains, a détaché du tronc principal trois branches, dont deux vers le port pour les marchandises, et l'autre, pour les voyageurs, vers le centre de la ville.

Les Compagnies anglaises, en général, ont fait, dans ces dernières années, des sacrifices considérables pour se rapprocher du centre des villes. M. Bassompierre, dans un excellent article sur la pénétration des chemins de fer dans les villes[1], a tracé un tableau complet des travaux immenses exécutés par ces Compagnies pour atteindre le cœur même des populations.

Gares communes. — L'établissement des gares extrêmes dans une grande ville nécessitant souvent, comme nous venons de le constater, des dépenses énormes, on a été conduit à examiner si, en réunissant plusieurs chemins de fer dans une gare commune et en faisant le service sur les mêmes trottoirs et les mêmes rails, on ne réaliserait pas de grandes économies. Cette question a été agitée vivement, surtout à l'occasion du chemin de fer de Lyon, que l'on voulait faire aboutir à Paris dans la gare du chemin de fer d'Orléans; et du chemin de fer de Strasbourg, dont on a proposé de réunir la gare de Paris à celle du chemin de fer du Nord.

Il y a non-seulement une grande économie de construction à concentrer le service de deux ou plusieurs chemins de fer dans une même gare commune; il y a aussi économie notable de frais d'exploitation, car il est alors nécessaire, pour éviter la confusion, de réunir le service des différentes lignes dans les mains d'un personnel unique.

La fusion des gares extrêmes de chemins de fer est donc réellement avantageuse toutes les fois que le service de ces différentes lignes peut se faire sur les mêmes rails et sur les mêmes trottoirs; aussi pensons-nous que le gouvernement a sagement fait en renonçant au projet d'établir à Strasbourg deux gares distinctes pour les chemins de Bâle à Strasbourg et de Paris à Strasbourg; mais doit-on regretter que la gare du chemin de Lyon n'ait pas été réunie à celle du chemin d'Orléans, et celle du chemin de Strasbourg à celle du

[1] *Journal des chemins de fer*, 25 novembre 1854.

chemin du Nord? Nous ne le croyons pas. Quand on calcule le nombre considérable de convois qui circulent sur ces grandes voies de communication, et quand on songe qu'il y a des heures de départ, pour ainsi dire forcées pour certains convois, marchant sur des lignes différentes, on reconnaît qu'il eût été impossible de faire convenablement le service du chemin de Lyon et du chemin d'Orléans, du chemin du Nord et du chemin de Strasbourg sur les mêmes rails et sur les mêmes trottoirs. De là, la nécessité d'établir des voies, des trottoirs, des salles d'attente même distinctes, desservies par un personnel spécial. La gare commune ne serait devenue alors que la réunion de deux gares contiguës et aurait perdu la majeure partie de ses avantages. Elle n'aurait conservé que celui de faciliter le passage des voyageurs et des marchandises d'un chemin sur l'autre sans transbordement ; mais on évite également ce transbordement en réunissant les gares distinctes par un chemin de jonction, comme on l'a fait pour les chemins qui aboutissent à Paris.

Nous ne saurions donc conseiller la communauté des gares que pour des chemins de fer où la circulation n'a pas l'extrême activité qu'elle a prise sur nos grandes lignes.

Pentes et rayons de courbure. — Si l'économie est de rigueur dans la construction des voies de communication toutes les fois qu'elle n'en compromet pas l'avenir, elle serait au contraire fort blâmable, lorsque, pour un intérêt du moment, elle exposerait à un préjudice grave dans les temps futurs.

Ainsi, en Angleterre, on a commis une grande faute dont on supporte aujourd'hui toutes les conséquences, lorsque, sans se préoccuper de l'accroissement du commerce, on a ouvert, il y a une cinquantaine d'années, les canaux dans les dimensions insuffisantes de la petite section.

On ferait une faute semblable si on calculait les pentes et les rayons de courbure des chemins de fer dans la seule pensée d'établir l'équilibre entre les dépenses et les produits.

Les lignes du premier ordre, étant appelées, sans aucun doute, à provoquer d'immenses développements dans l'industrie et le trafic, doivent être établies avec un certain luxe. Si l'on peut, dans quelques années, remplacer un tronc commun par une voie spéciale,

il n'est pas également possible de substituer à des pentes trop fortes des pentes plus faibles, ou, du moins, ce n'est possible que dans certains cas particuliers. *Il faut donc, dès à présent, dans le tracé des lignes principales, se résigner à quelques sacrifices pour réduire l'inclinaison des rampes et pour agrandir le rayon des courbes.*

Nous ne prétendons pas cependant imposer ici une règle absolue. Les sacrifices ont aussi leurs limites, et, avec des machines suffisamment puissantes, les fortes pentes, pourvu qu'elles ne dépassent pas un maximum que nous avons indiqué p. 72, n'exerceront pas sur les frais d'exploitation une influence à beaucoup près aussi grande que celle qu'on leur avait supposée dans l'origine.

On ne craint pas aujourd'hui de construire même des lignes de premier ordre avec des pentes que l'on avait considérées comme entièrement inadmissibles il y a quelques années.

M. Teisserenc a publié sur l'influence des pentes un travail fort intéressant, d'où il résulterait, qu'au-dessous d'une certaine limite l'inclinaison des rampes, sur les lignes à grande vitesse consacrées au transport des voyageurs et des marchandises, n'augmenterait en aucune manière les frais d'exploitation, et que même elle semblerait les diminuer, puisque, en comparant la dépense de plusieurs chemins anglais, on trouve qu'elle est plus faible sur les chemins à forte pente que sur ceux à pente douce.

Le même auteur explique cette espèce de paradoxe en présentant une série de tableaux de la composition desquels il tire comme conséquence :

1° Que le poids des convois qu'il a fallu multiplier pour les besoins du commerce est presque toujours inférieur à celui que les locomotives remorquent sans grande difficulté sur les lignes à faibles pentes ; que, par conséquent, ces machines peuvent franchir aisément des pentes de 7, 8 et 9 millimètres.

2° Que, dans le cas des rampes plus fortes qui ne peuvent être gravies qu'au moyen d'un ralentissement de la marche, le temps perdu est économiquement retrouvé dans le passage sur la contrepente, dont la déclivité sert de moteur gratuit et permet d'atteindre une grande vitesse.

3° Que les cas d'affluence de voyageurs ou de marchandises né-

cessitant l'adjonction de machines de renfort sont aussi fréquents, si ce n'est plus, sur les chemins à faibles pentes que sur les autres.

4° Que, sur les chemins à fortes pentes, l'entretien de la voie coûte moins que sur ceux de niveau, parce que ceux-ci n'ont été amenés à ce point de perfection qu'au moyen de grands travaux de terrassements, remblais ou tranchées, constamment menacés par des éboulements ou des crevasses qui compromettent la sécurité des voyageurs et augmentent considérablement les frais d'entretien.

5° Enfin, que les dépenses supplémentaires des chemins à fortes pentes rendent obligatoire un système général d'économie qui agit si heureusement sur toutes les parties de leur administration, qu'avec des recettes brutes moins élevées ils arrivent à distribuer des dividendes plus forts.

Nous sommes bien d'accord avec M. Teisserenc en ce sens que nous pensons comme lui que l'accroissement des pentes, jusqu'aux limites qu'il indique et sur les grandes lignes où l'on transporte en même temps les voyageurs et les marchandises, n'a pas sur les frais d'exploitation une influence aussi sensible qu'on le croyait; mais nous ne saurions admettre en principe, comme il le fait, que cette influence est absolument nulle, et, bien moins encore, que la dépense diminue lorsque les pentes augmentent.

Et d'abord, remarquons que ce qui peut être vrai pour l'Angleterre ne l'est pas pour la France. Si, en Angleterre, les besoins du commerce ont obligé de multiplier les convois de voyageurs à tel point que la force des locomotives est plus que suffisante pour remonter sans ralentissement des pentes de 7, 8 et 9 millimètres, il n'en est pas de même en France.

Ainsi, d'après M. Teisserenc, la charge moyenne d'un convoi de voyageurs est :

Sur les chemins anglais, de.	55 tonnes.
Sur les chemins français, de.	75 »
Sur les chemins allemands, de.	100 »

Dira-t-on que, pour traîner les lourds convois, on emploiera de plus fortes machines? Ces machines seront plus lourdes, elles fati-

gueront davantage la voie et consommeront plus de combustible. L'accroissement de la dépense ne sera pas proportionnel à leur poids, mais il s'en faudra qu'il soit nul [1].

Même observation si l'on se sert des machines à détente variable, généralement usitées aujourd'hui. Quand ces machines remorquent de lourds convois sur de fortes pentes, elles détendent peu et rentrent dès lors dans les conditions de marche des anciennes machines Elles ne peuvent donc développer le travail nécessaire pendant un temps un peu considérable qu'à la condition d'être munies de chaudières très-grandes et par conséquent très-lourdes.

Ajoutons que si la charge des convois est variable, il vaut mieux employer des machines moins lourdes et y adjoindre des machines de renfort en cas de surcharge.

S'il faut se défier des théories qui ne s'appuient pas sur des faits, il faut également n'admettre qu'avec une grande réserve les conséquences que l'on prétend tirer de données statistiques toujours plus ou moins imparfaites et sujettes à des interprétations diverses. Les différents chemins que M. Teisserenc a cités dans ses tableaux ne sont pas dans les mêmes conditions, et il est probable que si on pouvait se procurer le compte détaillé de leurs frais d'exploitation et qu'on les comparât soigneusement, on parviendrait à expliquer, autrement qu'il l'a fait, l'anomalie qui paraît exister dans les frais de locomotion sur les chemins à faibles ou à fortes pentes. Nous ne nous livrerons pas cependant à des investigations qui nous présenteraient des difficultés probablement insurmontables.

Les données suivantes, fournies par la comptabilité des chemins de fer de Strasbourg et d'Orléans, nous conduiront d'une manière plus sûre à déterminer l'influence des pentes sur la dépense de traction [2].

Sur le chemin de Strasbourg on rencontre, entre Bar-le-Duc et Commercy, deux rampes de 8 millimètres inclinées en sens contraire; la première, en partant de Paris, a 10,250 mètres de longueur, et l'autre 9,840 mètres.

[1] Voir la note sur les frais de traction du chemin de Reims, p. 104.

[2] Voir aussi les renseignements que nous donnons plus loin sur les frais d'exploitation du chemin de Turin à Gênes.

Les convois, lorsqu'ils sont trop lourds pour être remorqués au passage de ces rampes par une seule locomotive, sont aidés par des machines de renfort toujours allumées, les unes stationnant dans le dépôt de Bar-le-Duc, à 12 kilomètres du pied de la première, et les autres dans celui de Lérouville, placé au pied de la seconde. La dépense totale qu'entraîne l'usage de ces machines est de 140,000 fr.; le surcroit de dépense, pour l'entretien, la police et le renouvellement des voies, est d'environ 20,000 fr.[1]. La dépense supplémentaire totale est donc de 160,000 fr.

Le nombre de kilomètres parcourus par les convois qui font usage de machines de renfort est d'environ 47,000 kilomètres sur chacune des rampes, soit, sur les deux rampes, 94,000 kilomètres. La dépense supplémentaire occasionnée par les plans inclinés est donc par kilomètre de 160,000 fr., divisés par 94,000, c'est-à-dire 1 fr. 70 cent.

Les frais de traction et d'entretien de la voie pour un convoi sur les pentes ordinaires maxima de 5 millimètres étant d'environ 1 fr. 20 cent. par kilomètre, ces mêmes frais se trouvent ainsi plus que doublés au passage des plans inclinés.

Toutefois, si la longueur des rampes était plus grande, les mêmes machines de renfort, pourvu que cette longueur ne dépassât pas certaines limites, suffiraient pour en faire le service.

Au chemin de Strasbourg, le dépôt de Lérouville ou un dépôt voisin à Commercy eût été nécessaire, lors même que les rampes n'eussent pas existé. On peut en dire autant du dépôt de Bar-le-Duc. Nous n'avons en conséquence compris, dans la dépense supplémentaire, ni l'intérêt du capital des dépôts, ni le traitement des chefs de dépôt.

Sur le chemin d'Orléans, au contraire, d'après M. Polonceau, ingénieur en chef du matériel de ce chemin, on a été forcé d'établir un dépôt spécial pour le service de la rampe d'Étampes; en sorte

[1] Les frais d'entretien et de police de la voie sur de faibles pentes étant de 2,500 fr. par kilomètre, nous avons supposé un accroissement de 20 pour 100, soit de 500 francs sur les rampes de 8 millimètres. A ces 500 francs il faut en ajouter autant pour augmentation des frais de renouvellement de matériel fixe, ce qui fait en tout 1,000 francs par kilomètre de dépense supplémentaire applicable au service de la voie, et 20,000 fr. environ pour les deux rampes.



qu'ayant égard à cette circonstance et observant que la fréquence des convois sur le chemin d'Orléans exige la présence de trois machines dans le dépôt d'Étampes, au lieu de deux qui suffisent dans les dépôts du chemin de Strasbourg, on trouve que le supplément de dépense occasionné sur le chemin d'Orléans par la seule rampe d'Étampes est, pour la traction seulement, de 132,000 fr., ce qui diffère peu de celle que nécessite le passage des deux rampes en sens contraire du chemin de Strasbourg.

A ce surcroît de dépense il faudrait encore ajouter l'accroissement des frais d'entretien, de police et de renouvellement des voies.

Sur le chemin d'Épernay à Reims[1], on trouve aussi deux rampes de 9 millimètres inclinées en sens contraire, longues de

[1] Le service de la ligne d'Épernay à Reims comprend trois trains de voyageurs ou mixtes et deux trains de marchandises.

Les trains de voyageurs, à raison du profil en rampes, ne peuvent se faire qu'à l'aide de machines mixtes. Ces machines consomment au moins 2 kilogrammes de coke de plus que les machines à roues libres, et l'usure des bandages beaucoup plus considérable, ainsi que celle des diverses pièces du mécanisme, conduit à un entretien plus coûteux d'environ 0 fr. 04 centimes par kilomètre. Ainsi l'on a : trois trains, à raison de 60 kilomètres, aller et retour, effectuent 180 kilomètres.

Excédant de consommation de coke : 2 kilogrammes à 0 fr. 04 centimes par kilomètre, ou 0 fr. 08 centimes, et pour 180 kilomètres.	14 fr. 40 c.
Usure du bandage, etc., à 0 fr. 04 centimes pour 180 kilomètres. .	7 20
Total.	21 fr. 60 c.

Quant aux machines à marchandises, elles ne remorquent que la moitié de la charge ordinaire. Donc la dépense de traction est doublée. Cette dépense, pour un train de marchandises, est d'au moins 1 franc 10 centimes. La dépense totale pour deux trains, ou 120 kilomètres, est de 132 francs, dont la moitié, 66 francs, représente l'excédant occasionné par la rampe.

Ainsi, on a par jour :

Excédant pour le service des trains mixtes..	21 fr. 60 c.
— — des marchandises.	66
Total..	87 fr. 60 c.

Et pour l'année.	31,974 fr.
A cela, il faut ajouter :	
1° L'intérêt et l'amortissement du capital d'acquisition de deux machines et deux tenders qu'exige un service par petits trains, soit.	14,500
2° L'accroissement des frais d'entretien, police et renouvellement de la voie, estimé à 1,000 francs par kilomètre, soit, par 19 kilomètres de rampe..	19,000
Total.	65,474 fr.

Le parcours total effectué chaque année étant de 87,600 kilomètres, on a, par kilomètre, environ 75 centimes d'augmentation de dépense.

19,000 mètres; la première, du côté d'Épernay, d'environ 11,000 mètres de longueur, et l'autre, du côté de Reims, d'environ 8,000 mètres. L'existence de ces deux rampes entraîne un accroissement de frais de 65,474 fr. au moins, qui pèse lourdement sur l'exploitation du chemin de Reims.

De ces données on peut conclure :

1° Que, sur un chemin dont la pente, dans une grande partie de la longueur, serait de 8 millimètres et au delà, et dont les convois, généralement chargés à la remonte, nécessiteraient l'emploi fréquent d'une machine de renfort, ou celui d'une machine très-puissante, tel par exemple, que le chemin projeté de Thionville à Arlon, ou le chemin d'Épernay à Reims, les frais de traction seraient notablement plus élevés que sur un chemin à faible pente.

2° Que, sur un chemin également incliné, mais où les convois remontants seraient le plus faiblement chargés, comme, par exemple, sur les deux chemins de Versailles, l'influence de la pente sur la dépense serait peu sensible.

3° Que les frais de traction seraient aussi moins élevés si, comme au chemin de Saint-Étienne à Lyon et sur la plupart des chemins destinés au transport de la houille, les convois de marchandises chargés marchaient presque exclusivement à la descente.

4° Qu'il faut chercher à concentrer les rampes d'une certaine inclinaison sur un certain point en leur donnant une grande longueur plutôt que de les multiplier en les raccourcissant.

5° Qu'il faut autant que possible placer l'origine des fortes rampes en un point où le service de la ligne nécessiterait un dépôt, lors même que les pentes dans le voisinage seraient faibles [1].

6° Que l'accroissement des frais de traction résultant du passage de rampes de 8 à 10 millimètres d'une certaine longueur sur un chemin comme celui de Strasbourg où la totalité des frais de trac-

[1] Dans un premier projet étudié pour l'établissement d'un chemin de fer de Nancy à Épinal, on avait admis plusieurs rampes de 10 à 12 millimètres placées à une certaine distance les unes des autres, et dont chacune aurait nécessité la construction d'un dépôt spécial. Dans un nouveau projet mis à exécution, toutes ces rampes ont été concentrées sur un seul point voisin de la bifurcation de la ligne d'Épinal avec la ligne principale de Paris à Strasbourg, bifurcation placée à Blainville, où il existait déjà un dépôt indispensable pour le service de la grande ligne.

tion s'élève déjà en ce moment à 6,000,000 de francs, est insignifiant.

7° Que l'adoption de ces rampes sur le chemin de Strasbourg est suffisamment motivée par la dépense excessive qu'il eût fallu faire pour réduire l'inclinaison à 5 millimètres, dépense qui eût de beaucoup dépassé le capital dont l'intérêt égale l'accroissement ci-dessus indiqué des frais de traction.

M. Teisserenc peut alléguer sans doute à l'appui de son opinion que, pour les grandes vitesses, la résistance qu'oppose l'air à la marche des convois absorbant une partie considérable du travail développé par les moteurs, les trains de voyageurs pourront être remorqués sur de fortes rampes par des machines de puissance ordinaire moyennant un ralentissement convenable. Mais ce fait cesse d'être vrai pour les convois de marchandises marchant à une vitesse moyenne de 7 mètres par seconde.

Dans cette dernière condition, la résistance de l'air n'est plus qu'une fraction peu importante de l'effort de traction total, et il en résulte que, malgré une diminution notable de vitesse, la résistance totale du convoi croît très-rapidement avec l'inclinaison de la voie.

Or il est reconnu que le transport des marchandises n'est réellement avantageux que s'il se fait à charges complètes.

Il devient donc évident que les convois de marchandises auront besoin, sur les parties les plus inclinées de la voie, de tout le travail que peut développer la machine, et qu'ils ne pourront franchir les fortes rampes qu'à l'aide de machines de renfort.

M. Lechatelier professe une opinion semblable à la nôtre sur l'influence des pentes en ce qui concerne les frais d'exploitation; voici les termes dans lesquels il s'exprime dans son ouvrage sur les chemins de fer d'Allemagne :

« Les fortes pentes sont nécessairement une source de dépenses pour l'exploitation des chemins de fer. On ne doit évidemment les admettre dans un tracé qu'autant que les frais de travaux d'art et de terrassement nécessaires pour les éviter sont beaucoup plus considérables que le capital correspondant à l'augmentation des frais d'exploitation prévus. Il ne suffit pas que les charges imposées à la traction paraissent être sensiblement inférieures à l'intérêt du capi-

tal excédant qui serait déboursé pour éviter ces pentes ; il faut tenir compte aussi du développement progressif des chemins de fer, de l'importance inappréciable aujourd'hui que prendra leur trafic dans un certain nombre d'années, et ne sacrifier l'exploitation qu'en présence d'économies considérables à réaliser sur la construction. »

M. le comte Daru, dans son rapport à la Chambre des pairs sur le chemin de fer du Nord, a également combattu l'opinion de M. Teisserenc.

« Les chemins à fortes pentes, dit-il, n'ont pas, ainsi qu'on l'a prétendu, une supériorité économique sur les chemins à faibles pentes, loin de là. Cette thèse, soutenue récemment, n'est pas vraie. Les exemples sur lesquels on s'est appuyé pour essayer de la faire prévaloir n'ont rien de démonstratif. On ne peut pas en effet comparer les chemins d'Angleterre à plans inclinés, établis et exploités avec la plus grande économie, parce que ce sont justement ceux où la circulation est la plus faible, avec ces grandes lignes dont la construction a exigé des capitaux énormes, qui ont un mouvement immense de voyageurs, perçoivent de hauts tarifs et sont administrées dans un esprit et dans des conditions absolument différents. Sur ces voies, on n'épargne ni dépenses de commodité ni même dépenses de luxe pour satisfaire le public. Souvent il arrive que, pour diminuer les chances d'un faible retard, on double le moteur strictement nécessaire à la traction du convoi. De là des augmentations de frais ; de là aussi il résulte que les deux appareils locomoteurs, les deux mécanismes, ne sont nullement comparables. Ils portent le même nom, mais ils ne se ressemblent pas.

« La vérité est qu'une augmentation dans les pentes n'accroît pas autant qu'on se l'est imaginé dans le principe la dépense de traction. Ces prévisions théoriques ne sont pas dans cette matière plus que dans beaucoup d'autres réalisées par l'expérience. On peut, en roidissant les inclinaisons, obtenir une diminution sensible dans les frais de premier établissement sans nuire à un bon service. Il peut donc y avoir avantage à le faire ; mais l'exploitation se trouve par suite grevée d'une charge additionnelle, certaine, inévitable. »

M. Couche, enfin, exprime son opinion sur l'admission des fortes pentes dans les termes suivants : « Loin de modifier les idées reçues

sur l'influence des rampes en général, l'expérience n'a fait que confirmer les inconvénients qu'elles entraînent, même sous une faible inclinaison, dès que leur longueur exige l'établissement d'une vitesse uniforme. Très-courtes même, elles constituent une charge réelle pour l'exploitation quand elles coïncident avec des courbes prononcées, quand une station principale est placée à leur pied, etc., etc. Dans tous les cas, enfin, elles affectent bien plus gravement le service des marchandises que celui des voyageurs. Les sacrifices faits à l'abaissement de la limite des rampes sont donc fondés dans des circonstances ordinaires, c'est-à-dire quand on peut, à ce prix, éviter des conditions spéciales pour la traction.

« Mais il en est tout autrement dans les cas extrêmes où il faut, quoi qu'on fasse, accepter des inclinaisons exceptionnelles.

« Aujourd'hui les locomotives laissent à cet égard aux ingénieurs une grande latitude dont ils devront user largement.

« Les rampes très-inclinées, telles que celles du Sœmmering, dont l'inclinaison est de 0,025, ne doivent toutefois, dit M. Couche[1], être admises qu'à la dernière extrémité et quand il faut recourir à tous les moyens pour frayer un passage au chemin de fer. »

Après avoir cité les ouvrages de MM. Teisserenc, Lechatelier, Daru et Couche, sur l'influence des pentes, nous devons appeler aussi l'attention de nos lecteurs sur une publication de M. Minard, publication qui a porté de vives lumières sur cette question dans un moment où elle était encore très-obscure pour un grand nombre d'ingénieurs.

Nous nous sommes longuement étendu sur la question de l'influence des pentes sur la dépense d'exploitation, parce qu'elle est grave, qu'elle a été fort controversée, et que d'ailleurs l'opinion d'un écrivain aussi habile que M. Teisserenc ne devait pas être rejetée sans une discussion approfondie.

Nous n'avons pas examiné jusqu'à quel point l'adoption du système Arnoux pourrait influer sur le choix des tracés, attendu que nous nous réservons d'exprimer notre opinion à cet égard en traitant plus spécialement des nouveaux systèmes de locomotion.

[1] *Annales des mines.*

S'il est essentiel de régler convenablement l'inclinaison des rampes sur un chemin de fer, leur mode de répartition n'est pas non plus sans importance.

Nous avons déjà établi qu'il fallait autant que possible concentrer les rampes sur un même point et dans le voisinage d'un dépôt de machines ; nous ajouterons que *les pentes variées, même d'une assez faible inclinaison, sont peu favorables à l'emploi des machines locomotives;* car, si les pentes et les contre-pentes ne se succèdent pas de manière que les machines puissent remonter les rampes au moyen de la vitesse acquise sur les pentes descendantes qui les précèdent, on ne peut leur faire remorquer que la charge compatible avec leur adhérence et leur force sur les pentes les plus roides. Si, au contraire, les rampes sont assez courtes pour que l'ascension puisse avoir lieu sans un accroissement de force et sans ralentissement notable, les machines lancées avec toute leur puissance à la descente souffrent beaucoup de la vitesse excessive qu'elles acquièrent par moments. Cette dernière observation est également applicable au mode de tracé proposé par un ingénieur écossais et qui consisterait à diviser le profil en parties de niveau et en plans inclinés de petite longueur, en sorte que les machines puissent remonter les plans inclinés au moyen de la vitesse acquise sur les paliers. En outre, si les machines ainsi lancées sur les paliers venaient à rencontrer un obstacle qui en diminuerait un instant la vitesse, on ne pourrait les ramener à l'extrémité du palier pour les lancer de nouveau.

Cette raison seule suffirait pour faire rejeter ce profil, lors même qu'on n'y serait pas conduit par d'autres considérations théoriques.

Si, toutefois, la raison d'économie, devant laquelle le principe technique des pentes uniformes doit aussi plier, oblige à préférer une pente variée, il faut diviser, autant que possible, les lignes en parties sur lesquelles l'effort varierait du simple au double, ou à peu près.

Lorsque, au lieu de machines, on emploie des chevaux pour le halage, les pentes variées, convenablement disposées, sont préférées aux pentes uniformes. Le cheval se fatigue moins d'un effort varié

que d'un effort constant. Il n'est personne, ayant l'habitude de voyager à pied, qui n'ait reconnu que l'homme, ainsi que le cheval, se fatigue moins en parcourant une même distance sur un sol accidenté que sur un terrain parfaitement uni.

Une inclinaison très-avantageuse est celle pour laquelle l'effort du moteur est le même dans les deux sens, eu égard à la différence du chargement à la descente et à la remonte.

Tout ce que nous avons dit de l'influence qu'exercent les fortes pentes sur la dépense d'exploitation, nous pourrions le répéter pour les courbes de petit rayon.

Sous le rapport de l'économie de premier établissement, les courbes de petit rayon sont avantageuses, puisqu'elles permettent de tourner les difficultés au lieu de les vaincre au moyen de grands travaux d'art et de terrassement; mais elles exercent sur les frais de traction la même influence que les fortes pentes, elles forcent à réduire la vitesse des trains.

Ainsi, sur le Great-Northern railway, en Angleterre, dont le tracé est presque rectiligne, les trains express marchent à une vitesse de 75 à 76 kilomètres par heure. Sur le chemin de Londres à Birmingham, où les courbes sont de grand rayon, à la vitesse de 71 à 72 kilomètres. Sur le chemin de Birmingham à Gloucester, où les courbes sont de petit rayon, la vitesse des trains les plus rapides, dans les parties où se trouvent ces courbes, ne dépasse-pas 50 kilomètres, et, sur celui de Newcastle à Carlisle, 45 à 48 kilomètres.

Sur nos grandes lignes françaises de l'Est, de Lyon et de Rouen, la vitesse de marche des trains express est de 60 à 66 kilomètres, et sur le chemin du Nord de 70 à 75 kilomètres. Sur le chemin d'Orléans, elle est plus faible, mais cela ne tient pas au tracé du chemin. Sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, où le rayon des courbes est généralement de 500 mètres, la vitesse maximum des trains en marche remorqués par des locomotives à la remonte entre Givors et Rive-de-Gier est de 42 kilomètres.

Sur les chemins allemands, dont le tracé est très-tourmenté, la plus grande vitesse des trains de voyageurs en marche est de 45 à 50 kilomètres.

Il est enfin un élément des frais d'exploitation sur lequel les

courbes de petit rayon agissent d'une manière très-fâcheuse, ce sont les frais d'entretien du matériel et de la voie.

En effet, le frottement des rebords des roues contre les rails et celui qui résulte du glissement des roues sur ces rails donnent lieu à une usure rapide des surfaces frottantes, aussi bien que celui que produit l'emploi des freins à la descente sur les fortes pentes.

Le tracé des embranchements n'exige pas la perfection que réclame celui des lignes principales.

Longtemps, en France, l'administration des ponts et chaussées s'est montrée d'une sévérité outrée lorsqu'il s'agissait de l'approbation des tracés qui lui étaient soumis par les Compagnies; mais elle n'avait pas encore construit de chemins de fer elle-même; éclairée aujourd'hui par sa propre expérience, elle est devenue beaucoup moins exigeante, et s'est même occupée tout dernièrement de l'étude d'un système de construction économique pour les embranchements.

Les embranchements sont une source de prospérité pour les grandes lignes; ce sont des rameaux qui fécondent le tronc. *Une des conditions auxquelles doit satisfaire le tracé de tout chemin destiné à unir de grands centres de population est donc de se prêter aisément à l'établissement de lignes secondaires.*

Les anciennes Chambres, appelées à se prononcer sur deux tracés proposés pour un chemin de fer entre Belfort et Besançon, l'un par la vallée du Doubs, l'autre par celle de l'Ognon, avaient opté pour ce dernier, en grande partie parce qu'il offrait pour la création d'embranchements plus de facilité que le premier.

Les voyageurs ne recherchent pas seulement, dans les chemins de fer, la rapidité et l'économie des transports, ils veulent aussi voyager sûrement. Il est par conséquent du devoir du gouvernement de prescrire aux Compagnies, dans le tracé des chemins de fer, certaines règles qui en rendent le parcours le moins dangereux possible; il est aussi de l'intérêt des Compagnies de ne jamais oublier que la sûreté est, aussi bien que l'économie des transports, une des principales conditions d'un bon tracé.

L'administration s'est montrée souvent trop facile pour admettre les tranchées ou les souterrains courbes, surtout aux abords des

stations. Rien n'est plus dangereux. Plusieurs accidents, celui de Bonnières, par exemple, sur le chemin de Rouen, le prouvent assez. Il importe que les convois puissent être aperçus d'une certaine distance; et cette condition n'est remplie que sur des parties rectilignes, ou lorsque les courbes sont en remblai. Il n'est pas toujours possible d'éviter une tranchée ou un souterrain courbe, mais encore faut-il les multiplier le moins possible, et, quand ils deviennent absolument nécessaires, en éloigner les stations et les faire précéder ou suivre par de longs alignements.

Les courbes de trop petit rayon, non-seulement augmentent les frais d'exploitation, mais encore deviennent une cause d'accidents.

On s'effraye également des fortes pentes, parce qu'on suppose que sur ces pentes il est impossible de contenir les convois. Ces pentes ne sont certainement pas sans danger, mais on en calculait mal les effets lorsqu'on proscrivait les pentes dépassant 5 millièmes, comme exposant les voyageurs à la descente à de nombreux accidents.

Il est reconnu aujourd'hui que, sur une pente de 1 centième en ligne droite, la résistance de l'air devient telle, à la vitesse de 60 à 70 kilomètres par heure, que les convois abandonnés à eux-mêmes ne peuvent la dépasser, et que, sur les plus fortes pentes en usage, les freins et les machines locomotives, agissant elles-mêmes comme les freins les plus puissants lorsqu'on renverse la vapeur, peuvent toujours arrêter les convois.

Ce ne serait donc que si, par hasard, un ou plusieurs waggons, en stationnement, se trouvaient poussés par une cause quelconque, telle que le vent, sur de fortes pentes, ou enfin si une partie du convoi s'en séparait par suite de la rupture d'une partie des chaînes d'attelage, qu'il pourrait résulter des accidents provenant de la trop grande inclinaison de la voie. Ce cas se présente malheureusement trop souvent, et il est miraculeux que jusqu'à ce jour aucun accident grave ne puisse être attribué à un événement de ce genre, surtout sur les chemins à fortes pentes, car la chance d'accident croît avec l'inclinaison du chemin. C'est, un jour, sur le chemin de Versailles (rive gauche), un train tout entier, chargé de voyageurs, qui est chassé par le vent sur une pente de 1 centième à la sortie

de la gare de Versailles et qui descend vers Paris avec une vitesse toujours croissante sur la pente de 4 millièmes, qui fait suite à celle de 1 centième. Un habile mécanicien, M. Caillet, aujourd'hui chef de la traction au chemin de fer Grand-Central, court après le train avec une machine locomotive, parvient à le rattraper, le suit doucement et s'accroche enfin au dernier waggon. Une autre fois, sur le chemin de Lausanne à Morges, un train de ballast, descend de Lausanne à Morges, sur la pente de 1 centième, et vient briser, heureusement sans accidents pour les hommes, tout ce qu'il rencontre dans la gare de Morges; sur le Sœmmering, un train de matériaux destinés aux réparations roule en arrière, acquiert bientôt une vitesse terrible, et eût certainement tué quarante ouvriers se trouvant dans le souterrain, si, l'entendant de loin venir, ils n'eussent jeté sur la voie tout ce qu'ils avaient sous la main et ne l'eussent ainsi forcé à quitter les rails; vers Prague, un train de vingt-cinq waggons de houille se détache, descend et rencontre une machine qu'il brise, et dont il tue le mécanicien ainsi que les deux chauffeurs; sur le chemin de Lyon, enfin, deux waggons chargés de pierre descendent de la station de Verrey au-devant d'un train de voyageurs, sur la pente de 1 centième, et viennent se briser eux-mêmes contre la machine, qui, fort heureusement, résiste au choc.

Une autre cause d'accident très-redoutable à laquelle on ne paraît pas attacher toute l'importance qu'elle mérite, c'est la multiplicité des passages à niveau.

Passages à niveau. — *Les passages à niveau, quand, sur des alignements ou sur des courbes en remblais, on peut les apercevoir de loin, ne sont pas dangereux; mais il en est tout autrement s'ils se trouvent à l'extrémité de tranchées ou de souterrains courbes.*

Ainsi, sur le chemin de Versailles (rive gauche), l'administration, pressée par les sollicitations de la Compagnie, qui avait épuisé ses capitaux, a toléré plusieurs passages à niveau qui, placés dans ces dernières conditions, ont failli occasionner des accidents.

Les réclamations des Compagnies, lorsqu'il s'agit de passages à niveau, sont d'autant moins fondées, qu'en général l'intérêt du ca-

pital qu'exige un pont remplaçant un passage de niveau ne dépasse pas le traitement d'un garde-barrière. L'administration ne devrait donc y céder que lorsque la nature du terrain ne permet l'établissement d'un pont qu'au prix de dépenses très-grandes.

Il faut aussi éviter de placer des passages à niveau à l'extrémité des gares.

Sur le chemin de Strasbourg, à l'entrée de la gare de Vitry, on en a établi un qui présente de très-graves inconvénients. Avant la construction récente d'une grue hydraulique spéciale pour les trains de marchandises, toutes les manœuvres se faisaient sur ce passage à niveau, et les barrières restaient souvent fermées pendant un si long espace de temps, qu'il a été constaté, dans une enquête faite à ce sujet, qu'au passage de ces trains, qui se suivent de très-près, la circulation se trouvait interdite pendant près de deux heures. Aujourd'hui la manœuvre est un peu moins gênante pour la circulation sur la route, mais elle n'en donne pas moins lieu à des temps d'arrêt très-fâcheux.

On eût évité ce passage à niveau en construisant un viaduc, ou, préférablement, en reculant la gare de 160 mètres environ. Sur le même chemin, on trouve des passages à niveau placés également à l'entrée des gares, à Lagny et à Bar-le-Duc.

Gares de rebroussement. — Les points de rebroussement dans les gares, sans présenter les mêmes dangers que les passages à niveau mal placés, peuvent aussi, en compliquant le service, devenir l'occasion d'accidents plus ou moins graves. Ils ont d'ailleurs pour conséquence une perte de temps, et, par suite, une perte d'argent. Ils changent la position des waggons dans les convois, de telle façon que les voyageurs ou les marchandises qui étaient placés en tête se trouvent placés en queue. Cette espèce de renversement des trains est désagréable pour les voyageurs et dangereux pour les marchandises. On a vu, sur le chemin du Nord, un waggon chargé de chiffons, qui, passant de la queue à la tête du convoi, a été incendié par la machine. Les rebroussements, enfin, en allongeant le parcours, augmentent le péage.

Il ne faut donc recourir, dans les tracés, aux rebroussements que dans quelques cas particuliers où ils deviennent indispensables

pour se rapprocher du centre des villes, et encore est-il nécessaire, dans ce cas, d'établir des courbes de raccordements pour éviter aux convois directs de pénétrer dans la station où ils seraient obligés de rebrousser.

Sur les chemins de fer français, il existe cependant plusieurs gares à points de rebroussement : celles d'Orléans, de Tours, d'Amiens, de Douai, de Lille, de Valenciennes et de Metz.

« Dans le tracé des chemins de fer allemands, dit M. Lechatelier, on ne s'est pas assez préoccupé des inconvénients que présentent les stations récurrentes. Cela tient en partie à ce qu'en Allemagne la plupart des lignes ont été projetées ou exécutées isolément et sans vues d'ensemble. Il est possible même que, dans quelques endroits, on se soit proposé, dans un intérêt mesquin de localité, de gêner le passage des voyageurs pour les retenir et prélever sur eux des impôts de séjour et de consommation.

« On doit, en France, où l'exécution des chemins de fer est favorisée par un élément qui manque partout ailleurs, la centralisation, éviter tout ce qui peut faire obstacle à la circulation rapide d'une extrémité à l'autre du territoire. On tend maintenant à abréger la durée du trajet sur les chemins de fer ; c'est en diminuant la durée des arrêts qu'on y parviendra sans inconvénient et sans courir les risques d'une vitesse exagérée. »

Souterrains. — *Le passage des souterrains n'est pas, comme on l'a prétendu, nuisible à la santé des voyageurs*; il convient cependant de réduire autant que possible le nombre et la longueur des tunnels, non-seulement par raison d'économie, mais encore pour l'agrément des voyageurs et dans le but de diminuer les chances d'accidents. La configuration du terrain force assez souvent d'en percer de très-longs. Il est important qu'ils soient autant que possible rectilignes.

Les fortes pentes sont plus nuisibles dans les souterrains que dans toute autre partie du chemin. L'humidité empêchant la boue qui imprègne les rails de sécher, l'ascension de fortes rampes y devient très-pénible. Il faut donc s'appliquer à les éviter plus encore sous les tunnels qu'à ciel ouvert.

Au chemin de Turin à Gênes, on a reconnu que les trains qui

remontent facilement les convois sur une rampe de 3 centièmes 1/2 à ciel ouvert sont fréquemment obligés de s'arrêter ou ne peuvent avancer que péniblement sur la rampe de 28^c,68 en souterrain.

Compensation des déblais. — *Dans le tracé des routes de terre on cherche ordinairement à compenser les déblais par les remblais. Plusieurs ingénieurs ont cru devoir, à tort, étendre cette règle au tracé des chemins de fer.*

Sans doute, lorsque le volume des déblais dépasse celui des remblais, on est forcé de déposer l'excédant des terres extraites des tranchées, et, si ce volume lui est inférieur, d'emprunter les terres qui manquent pour compléter les remblais. De là des extractions ou des mouvements de terre souvent coûteux dont on se fût dispensé en compensant les déblais par les remblais. Mais, si, pour éviter ces terrassements et ces manœuvres, l'ingénieur s'est attaché à établir cette compensation, il peut en résulter la nécessité d'ouvrir de très-grandes tranchées dont l'exécution est toujours longue et difficile, s'il faut en porter toutes les terres sur l'axe du chemin, ou de creuser des tranchées dans des terrains glaiseux qui ne fournissent que de très-mauvais produits pour la confection des remblais adjacents. Dans le premier cas, l'économie n'est qu'apparente, car elle est plus que compensée par les pertes d'intérêts qui sont la conséquence d'un accroissement de durée des travaux, et qui, pour un chemin de fer, peuvent être énormes. Dans le second, la dépense peut dépasser de beaucoup les prévisions. En fût-il autrement d'ailleurs, le danger des éboulements auxquels on est exposé de la part des talus glaiseux de la tranchée ou des remblais en mauvaise terre est bien plus redoutable pour un chemin de fer que pour une route.

Il faut, par conséquent, détourner souvent le tracé d'un chemin de fer pour éviter certains terrains difficiles, ou recourir aux dépôts et aux emprunts.

Influence du vent et des neiges. — On a été conduit, en étudiant le chemin de Trieste à Venise, à reconnaître qu'un certain tracé, qui d'abord avait obtenu la préférence, laissait les trains exposés, pendant la plus grande partie de leur trajet, à des vents dont la violence et la continuité seraient un obstacle très-grave pour le service, et on a renoncé à ce tracé.

Il importe donc, en étudiant le tracé des chemins de fer, de se rendre compte de l'action que les vents pourraient avoir sur la marche des convois.

Il faut aussi, dans les pays de montagnes surtout, diriger les tracés de manière à se préserver, autant que possible, des amas de neige.

Toutefois la neige est moins redoutable qu'on ne l'a supposé.

On a exprimé la crainte que, dans les pays de montagnes et même dans les pays de plaine, où le froid est rigoureux, elle ne devînt un obstacle insurmontable à l'exploitation des chemins de fer en hiver. Cette crainte n'est pas fondée.

Sur les chemins de Bavière et du Wurtemberg, qui se trouvent dans des conditions bien plus difficiles à l'égard des neiges que la plupart des chemins français, puisqu'ils ont à franchir des chaînes de montagnes assez élevées, on a employé, pour se garantir, sinon complétement, au moins en grande partie, de l'accumulation des neiges mouvantes, différents moyens que M. Muntz, ingénieur civil, a décrits dans le journal l'*Ingénieur*, et que nous ferons connaître plus loin.

Nous avons chargé M. Goschler, ancien élève de l'École centrale, ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est, envoyé par la Compagnie en Suisse et en Allemagne, de recueillir également des renseignements à cet égard sur les lignes qui traversent des chaînes élevées, et nous en avons obtenu de M. Sauvage, ingénieur en chef de la traction de la même Compagnie sur le chemin de Saint-Pétersbourg à Moscou. De ces renseignements il résulte que différentes circonstances, telles que la direction des vents, la latitude, la présence ou l'absence de grands arbres dans le voisinage de la ligne, exercent une certaine influence sur la quantité de neige qui peut s'accumuler sur la voie, mais que, dans tous les cas, on emploie des moyens tels que les interruptions de service, même dans les localités les moins favorisées, dépassent rarement deux ou trois jours.

En 1852, 1853 et 1854, d'après les renseignements fournis par M. Sauvage, le chemin de fer de Saint-Pétersbourg à Moscou n'a pas été intercepté un seul jour par suite des neiges. Il était alors procédé à leur enlèvement en régie par les soins de l'administra-

tion. Depuis, ce travail a été compris dans l'entretien de la voie et donné comme le reste à l'entreprise. On a eu une interruption de deux jours en 1855 et d'un jour en 1856.

Les renseignements très-intéressants et très-détaillés qui nous ont été fournis par M. Goschler, ayant trait à l'exploitation plutôt qu'à la construction, seront reproduits aux documents. Ceux qu'a publiés M. Muntz, concernant la construction, trouveront leur place dans le texte.

Conditions stratégiques. — Le tracé d'un chemin de fer répondrait-il aux besoins du commerce et offrirait-il aux voyageurs toute la sûreté possible, cela ne suffirait pas encore : il faut aussi qu'il soit habilement combiné pour la défense du pays.

On divise en général les voies de fer stratégiques en voies parallèles à la frontière et voies perpendiculaires.

Il est essentiel que les voies parallèles, surtout si elles sont voisines de la frontière, soient protégées par un obstacle naturel quelconque, tel qu'un grand fleuve ou un rempart de hautes montagnes.

Les voies stratégiqnes, destinées à porter rapidement les troupes à de grandes distances, doivent être le plus directes possible. Elles n'ont, au point de vue militaire, que les places fortes pour stations. Elles doivent être tracées de manière à ne fournir à l'ennemi, aux abords de ces places, aucun abri soit dans les tranchées, soit dans les remblais, contre le feu des batteries. Les lignes qui peuvent être *enfilées* par le feu de la défense sont considérées comme bien préférables à celles qui ne peuvent être battues que transversalement.

On doit aussi éviter, aux abords des places fortes, les tranchées qui peuvent donner écoulement aux eaux de l'inondation, et tout ouvrage d'art difficile à détruire et qui pourrait livrer passage aux assaillants. Quelquefois on loge le chemin de fer dans les fossés de la place (Belfort).

Après ces considérations générales sur le tracé des chemins de fer, passons aux opérations qui en constituent l'étude proprement dite.

Étude proprement dite. — Cette étude n'est plus, en France du

moins, exclusivement abandonnée aux ingénieurs. Le gouvernement, représenté par le conseil d'État et par une commission consultative composée d'hommes distingués, choisis dans toutes les branches de la haute administration, en prend aussi sa part. Il étudie le tracé au point de vue de la politique et de la défense du pays; les ingénieurs ou les Compagnies l'étudient au point de vue de la spéculation. La tâche des Compagnies se trouve donc ainsi simplifiée, car le gouvernement les renferme dans un cercle d'où il ne leur est pas permis de sortir. Il limite le nombre des directions sur lesquelles les Compagnies peuvent arrêter leur choix. Quelquefois même il prescrit celle qu'il considère comme étant la seule à laquelle il puisse donner son approbation, ou il la fait étudier par ses propres ingénieurs. Les projets de tracés fournis par les Compagnies ne peuvent d'ailleurs être mis à exécution qu'après avoir été soumis successivement à l'examen du conseil des ponts et chaussées, du comité du génie et de la commission consultative, qui les rectifient, s'il y a lieu, dans l'intérêt des localités et de la défense du pays.

Les Compagnies, ainsi débarrassées du soin de sauvegarder les intérêts généraux, n'ont qu'à rechercher le tracé le plus avantageux financièrement parlant, en sorte que la question peut se poser pour leurs ingénieurs à peu près en ces termes : Quel est le tracé qui, eu égard à la dépense et aux revenus, procurera, dans un certain temps, les plus grands bénéfices?

C'est en nous plaçant à ce point de vue que nous allons essayer d'y répondre.

Calcul du bénéfice. — Nous appelons bénéfice la différence entre le revenu et les frais d'exploitation, en comprenant dans ces frais d'exploitation non-seulement les dépenses de traction immédiate, d'entretien du chemin et les frais généraux, mais encore l'intérêt du capital engagé dans la construction. Les revenus se composent des taxes prélevées sur les voyageurs et sur les marchandises transportés par le chemin, taxes qui sont ordinairement perçues à raison de tant par voyageur ou par tonne de marchandises transportés à 1 kilomètre. Le meilleur tracé sera donc, pour une même circulation et une même longueur de parcours, celui pour lequel les

frais d'exploitation par voyageur ou par tonne de marchandises et par kilomètre, y compris l'intérêt des capitaux et dépenses d'entretien, seront un minimum.

Mais, dès qu'on aborde le calcul de ces frais, on ne peut manquer de faire une observation importante, c'est que la dépense d'exploitation calculée pour une certaine unité, tonne de marchandises ou voyageur, se divise en deux parties distinctes : la première, qui, diminuant lorsque la quantité totale de voyageurs ou de marchandises augmente, comprend les intérêts, l'amortissement du capital, et les frais d'administration, entretien, etc., etc.; la seconde, qui, tout à fait indépendante de cette quantité, se compose des frais de traction immédiate. Or, généralement, lorsque, pour améliorer le chemin, on augmente le capital engagé dans la construction, les frais de traction diminuent et les frais d'entretien peuvent, suivant les circonstances, diminuer, augmenter ou rester stationnaires. Si donc, dans ce cas, la diminution opérée par l'amélioration du chemin sur les frais de traction et sur les frais d'entretien, pour chaque tonne de marchandises ou pour chaque voyageur, excède la portion d'intérêt et d'amortissement du nouveau capital dont cette amélioration grèvera le transport de la tonne ou du voyageur, il est clair que la somme des frais d'exploitation sera réduite, et que, par conséquent, l'amélioration sera motivée.

Mais la diminution sur les frais de traction produite par des améliorations dans le tracé sera indépendante de la circulation sur la route; les intérêts au contraire et l'amortissement du nouveau capital, par unité transportée, deviendront d'autant plus faibles que la circulation sera plus active. Nous arrivons ainsi à poser ce principe, que nous avons déjà indiqué dès le commencement de ce chapitre :

Le tracé le plus parfait au point de vue technique n'est pas toujours le plus convenable. Il n'est généralement avantageux d'améliorer un chemin de fer et même une voie de communication quelconque, ou, en d'autres termes, d'adopter, pour ce chemin ou cette voie de communication, un mode de construction et un tracé plus parfait, en augmentant le capital engagé, que lorsque la circulation est plus active.

Ce n'est là qu'une conséquence de ce grand axiome industriel que les manufactures assurées d'un grand débit peuvent et doivent seules employer les machines les mieux construites et les plus coûteuses. Quelque évident qu'il soit, on l'a si souvent oublié dans l'étude des chemins de fer, qu'il nous a paru nécessaire de ne pas traiter la question des tracés sans commencer par le rappeler.

Revenons actuellement à la comparaison des tracés possibles pour une même ligne.

Comparaison des tracés au point de vue de la spéculation. — Comparer différents tracés, avons-nous dit, ce n'est ordinairement pour l'ingénieur qu'en rapprocher les revenus et les dépenses. Rien de plus facile en apparence que ce travail ; suivons cependant l'ingénieur dans ses opérations, et nous verrons combien, dans certains cas, elles exigent d'étude, de connaissances spéciales et de talent.

Nous avons montré précédemment que le choix d'un tracé dépendait autant de la circulation présumée que de la configuration du terrain. La première question dont l'ingénieur ait à s'occuper est donc celle du *tonnage* probable en voyageurs et en marchandises. On apprécie facilement les nombreuses difficultés qui se présentent pour réunir les éléments d'une réponse.

Ce travail achevé, l'ingénieur étudiera le terrain, d'abord au moyen de la carte seulement, marquant entre les deux points extrêmes ceux par lesquels il sera important de passer, puis il tracera les lignes qui, touchant à ces différents points, paraîtront le plus convenables pour le tracé d'une voie de communication.

Lorsque la configuration du sol permet de poser les chemins à peu près en ligne droite sans travaux extraordinaires, le choix est facile ; mais, dans les pays accidentés, il se présente un grand nombre de lignes qui paraissent au premier abord satisfaire aux conditions exigées pour le meilleur tracé. Chacune a ses avantages particuliers et ses inconvénients, qu'on ne peut apprécier avec exactitude sans avoir obtenu par des opérations géodésiques un relief du terrain. Ces opérations sont toujours coûteuses, et l'on doit éviter de les multiplier ; il faut donc que l'ingénieur, doué d'un coup d'œil sûr et rapide, choisisse à la seule inspection du terrain

celles qui doivent faire l'objet d'études spéciales, puis qu'il détermine par des nivellements la hauteur des différents points du sol, suivant chacune de ces directions et à quelques dizaines de mètres à droite et à gauche.

Il lui reste ensuite à *profiler* ses tracés, c'est-à-dire à en déterminer les pentes. C'est alors surtout qu'il est obligé de déployer une grande sagacité, car on conçoit qu'entre deux points donnés, sans même s'écarter d'une certaine direction, il existe un grand nombre de profils différents possibles. Si, par exemple, ces deux points sont séparés par une montagne, on peut, en suivant toujours la même ligne, gravir la montagne d'un côté jusqu'au sommet pour ensuite descendre de l'autre côté, ou bien ne la gravir que jusqu'à une certaine hauteur et la traverser par un souterrain, ou enfin ouvrir un souterrain dès qu'on en atteindra le pied. On peut aussi, dans une vallée, suivre toutes les sinuosités auxquelles donne lieu la projection des contre-forts ou coteaux qui s'avancent de l'un ou de l'autre côté, ou abréger le chemin en coupant ces contre-forts.

L'ingénieur a donc à choisir en même temps entre plusieurs directions et plusieurs profils, et il n'a, pour calculer les avantages respectifs de ces différents tracés, que des données très-variables ou très-incertaines : le chiffre du tonnage, sur lequel on se trompe presque toujours, les frais de construction, dont un des éléments, l'indemnité aux propriétaires, est surtout bien difficile à apprécier, et enfin les frais d'exploitation, qu'on est loin encore de pouvoir établir avec une parfaite exactitude.

Il ne faut pas s'étonner par conséquent des défauts qu'on a signalés dans le tracé de presque tous les chemins de fer exécutés jusqu'à ce jour.

« Les voies de cette espèce aujourd'hui en activité, disait M. Paulin Talabot, directeur du chemin de Lyon à la Méditerranée, dans un mémoire inédit écrit il y a déjà quelques années, ont été exécutées à peu près au hasard et sans que l'ingénieur ait pu se rendre compte des conditions du problème qu'il avait à résoudre.

« Ainsi le chemin de Darlington à Stockton, desservi aujourd'hui par des machines, devait l'être par des chevaux dans la plus grande partie de sa longueur. On n'a déterminé le système des moteurs

qu'on emploierait sur le chemin de Liverpool qu'après que ce chemin a été exécuté, renversant ainsi l'ordre logique, qui voulait que le tracé fût fait pour le moteur, et non le moteur pour le tracé. Ce n'est pas seulement sur le choix du moteur que l'on s'est trompé dans l'étude du chemin de Liverpool à Manchester ; les erreurs commises sur le chiffre et la nature du tonnage n'ont pas été moins graves : cette ligne avait été tracée dans la prévision d'un transport considérable de marchandises à la vitesse de 16 à 20 kilomètres par heure ; aujourd'hui, au contraire, elle sert au transport d'un grand nombre de voyageurs à grande vitesse, et d'une quantité médiocre de marchandises.

« Les machines locomotives ne ressemblent en aucune manière à celles que l'on employait avant la construction de ces deux railways. Le poids, la force, la vitesse, le mode de construction de ces machines, tout cela a changé, tout cela varie encore tous les jours. »

Ce que M. Talabot disait du tracé des chemins de Liverpool à Manchester et de Darlington à Stockton, construits il y a vingt-cinq ou trente ans, on peut le dire également de celui de chemins beaucoup plus récemment établis. Aujourd'hui plus que jamais on altère à chaque instant et le mode de construction et la puissance des machines. Le problème du tracé d'un chemin de fer, toutes les fois qu'on se sert de machines, est, comme l'a dit avec beaucoup de justesse M. Minard, un véritable problème de mécanique. Le chemin et son système de chariots et de locomotives ont entre eux une telle corrélation, qu'on ne saurait les considérer isolément ; car la moindre imperfection dans l'une des parties, le moindre défaut d'harmonie entre ces différents objets, ont une influence destructive sur l'ensemble. Ils forment par leur réunion un seul et même appareil, une immense machine.

Comment donc poser des principes absolus pour le tracé des chemins de fer, même en se bornant à étudier la question au point de vue technique et financier, comment surtout y appliquer le calcul mathématique, lorsqu'on manque de données pour estimer exactement la résistance dans certains cas [1], et que chaque jour

[1] On manque complétement de bases pour apprécier la résistance dans les courbes de différents rayons, à différentes vitesses, avec un matériel donné.

amène d'importants changements dans le matériel ou même dans l'art de les construire? On est réduit, nous regrettons de le dire, à se contenter de quelques règles empiriques déduites de l'étude des chemins de fer déjà établis, règles dont la plus grande partie a déjà été exposée précédemment en traitant des considérations générales qui doivent présider au choix des tracés, et qui se trouveront complétées par l'indication des limites de courbure ou de pentes adoptées dans certains cas donnés pour le tracé des chemins de fer.

Limites de courbure. — Les courbes sur les chemins de fer à *grandes vitesses* les mieux exécutés ont en général de 800 à 1,000 mètres de rayon au moins (chemins de Liverpool à Manchester, Liverpool à Birmingham, Londres à Birmingham, Londres à Bristol, Paris à Lyon, Paris à Strasbourg). Sur quelques chemins de fer d'Autriche, on n'a pas craint de réduire le rayon des courbes à 180 mètres, mais on ne marche sur ces chemins qu'à de petites vitesses (30 kilomètres à l'heure), avec des machines à 6 ou 8 roues à essieux mobiles du système américain. Sur les chemins américains, on est descendu même au-dessous de cette limite[1].

Ces chemins ont été construits il y a quelques années. Aujourd'hui, selon M. Couche, les Allemands renoncent assez généralement à l'emploi du matériel américain, 5 ou 600 mètres de rayon sont le minimum qu'ils cherchent à atteindre, au prix même de sacrifices assez grands. Ce n'est que dans les stations que les ingénieurs admettent sans scrupule des rayons qui nous paraissent d'une petitesse excessive, et dont l'influence sur le matériel est d'autant plus destructive, que les manœuvres se font, en Allemagne, presque exclusivement par les changements de voie.

Un rayon de 2 à 300 mètres suffit lorsqu'on emploie des chevaux courant au trot, ou qu'on se sert de machines traînant de fortes charges à de très-petites vitesses (chemin de Roanne à Saint-Étienne, chemin des houillères de Newcastle et du pays de Galles méridional).

[1] Michel Chevalier, *Voies de communication*

Enfin, avec des chevaux allant au pas, on pourra adopter un rayon aussi petit qu'on le voudra, puisque alors rien n'empêchera d'employer les roues mobiles sur l'essieu, le système Laignel ou tout autre système ayant pour but de diminuer la résistance dans le circuit.

« Les courbes d'un très-faible rayon ne doivent plus d'ailleurs être considérées comme des obstacles insurmontables, dit M. Boulanger[1], même pour les grosses machines à marchandises à six roues couplées, telles que celles du chemin de Paris à Strasbourg. On sait en effet que le service du matériel et de la traction de cette Compagnie, placé sous la direction de M. Sauvage, a exploité, pendant quatre mois et sans aucun accident, l'embranchement de Metz à Forbach, sur la voie de ceinture exécutée provisoirement autour de la montagne de Steinberg, avec une rampe de 0m,006 et des courbes de 150 mètres de rayon. On avait eu le soin d'augmenter quelque peu l'écartement des rails, de manière à diminuer les frottements. On usa quelques bandages, mais le service ne fut pas interrompu. »

Le fait articulé par M. Boulanger est vrai. Mais nous ajouterons, pour qu'on n'en tire pas des conséquences trop absolues, qu'en passant dans les courbes de 150 mètres avec une machine à six roues on a fait un véritable tour de force, afin de ne pas interrompre le service, que les machines ne marchaient qu'au pas et qu'elles éprouvaient une fatigue excessive.

Dans le voisinage des villes, ou aux points d'intersection avec les routes, lorsqu'il faut diminuer la vitesse, les courbes peuvent avoir de moins grands rayons.

Ainsi le chemin de Liverpool à Manchester entrait anciennement à Manchester avec une courbe de 200 mètres, et il se soudait au chemin de Newton par une courbe de 360 mètres.

Sur le chemin de Chester à Crewe, on trouve à la station de Crewe une courbe dont le rayon n'a également que 360 mètres.

Dans les gares belges, on rencontre souvent des courbes de 200 mètres. Les anciennes machines Stephenson à six roues, très-

[1] *Annales des ponts et chaussées.*

communes en Belgique, y passent assez facilement; mais avec les nouvelles machines dans lesquelles un des essieux est placé à l'arrière de la boite à feu, il convient de donner à ces courbes 250 à 300 mètres de rayon au moins.

On évite avec un soin particulier les courbes de petit rayon sur les fortes rampes, où les chariots descendants marchent souvent animés d'une grande vitesse, et où les chariots montants éprouvent un surcroit de résistance.

Sur le chemin de Vienne à Trieste, toutefois, on s'est trouvé conduit par la configuration du terrain à réduire le rayon des courbes à 180 mètres, même sur des rampes très-fortes au passage des montagnes; mais on ne marche sur ces portions de chemin qu'à de très-petites vitesses; sur celui de Heilbronn à Friedrichshafen, le rayon des courbes n'est que de 227 mètres, les pentes étant de 22 millimètres.

Lorsque deux courbes tournées en sens contraire viennent à la suite l'une de l'autre, il convient de les séparer par un alignement qui ait la longueur d'un convoi au moins; le convoi ne peut pas de cette manière se trouver en partie dans une des courbes et en partie dans l'autre.

Limites de pente. — Sur toutes les grandes lignes récemment construites en France, on s'est attaché à réduire les pentes à 8 ou 10 millimètres, comme au chemin de Strasbourg, et encore n'a-t-on adopté des pentes aussi fortes qu'au passage des portions les plus accidentées sur une petite partie du parcours, tandis que partout ailleurs on s'est attaché à ne pas dépasser la limite de 5 millièmes. Sur le chemin de Lyon, la pente de 8 millimètres s'étend sur un parcours de 39 kilomètres; au chemin de Strasbourg, celle de 8 millimètres sur 20 kilomètres; sur celui d'Orléans, les rampes d'Étampes, inclinées également de 8 millimètres, ont 6,500 mètres de longueur. Au chemin de Londres à Bristol, on trouve une rampe d'environ 1 centimètre, de 5,000 mètres de longueur, et, au chemin de Liverpool à Manchester, des rampes de 11 à 12 millièmes sur un parcours de 2,400 mètres; enfin, sur les chemins de Londres à Brighton et de Londres à Douvres faisant partie de la grande ligne de Londres à Paris, les locomotives re-

montent une pente de 1 centième sur 5,000 mètres de longueur.

Sur les chemins de Versailles, contruits à une époque où l'administration des ponts et chaussées attachait encore une importance extrême aux faibles pentes, il n'a pas été permis de dépasser 5 millièmes, si ce n'est sur une faible partie du parcours du chemin de la rive gauche à l'entrée de Versailles. Il est incontestable cependant que sur cette ligne, où les machines marchent rarement avec une charge complète, on aurait pu, sans inconvénient, tolérer des pentes de 8 à 10 millimètres, comme sur le chemin de Londres à Croydon, ce qui eût considérablement diminué la distance à parcourir et les frais de construction du chemin.

La limite de pente de 10 à 12 millimètres, adoptée sur les chemins français et anglais, quand on ne traverse pas de véritables montagnes, est aussi celle que l'on a cherché à ne pas dépasser en Allemagne, et même aux États-Unis.

Dans les régions montagneuses, là où il faudrait exécuter des travaux gigantesques pour descendre à des inclinaisons de 10 à 12 millimètres seulement, on admet aujourd'hui des pentes qui s'élèvent jusqu'à 35 millièmes et sur lesquelles pourtant on continue à remorquer les convois avec des machines locomotives.

M. Koller, ancien élève de l'École centrale, ingénieur en second au Chemin de fer central (Suisse), qui vient d'étudier l'exploitation du chemin de Turin à Gênes, où l'on trouve de fortes pentes, a bien voulu nous communiquer des données du plus grand intérêt sur la dépense. Il résulte de ces données :

1° Que sur la partie comprise entre Gênes et Pontedecimo, où la pente moyenne est de 5^{mm} 8, et la pente maxima de 11^{mm}, et les courbes de 400 à 500 mètres de rayon,

La dépense pour le transport des voyageurs est, par voiture de voyageurs à 1 kilomètre, de. . . . . 0 fr. 19
par tonne brute à 1 kilomètre, de. 0 029

2° Que, sur la même partie du chemin, la dépense pour le transport des marchandises est, par waggon, à 1 kilomètre, pour monter et descendre, de. . . . . 0 fr. 20
Par tonne brute, en montant, de. 0 038
Par tonne nette, en montant. 0 061

en admettant, pour les deux cas, le mouvement nul en descendant[1].

3° Que sur la portion du chemin de Pontedecimo à Busalla, la pente moyenne étant de. . . . . $28^{mm},2$
La pente maxima de. 35
A ciel ouvert de. 35
En souterrain, de. 28 7
Et les courbes ayant généralement de 400 à 500 mètres de rayon, le transport des voyageurs a coûté, par waggon, à 1 kilomètre. . . . . 0 fr. 37
Par tonne brute, d°. 0 057

4° Que, sur la même partie du chemin, le transport des marchandises a coûté, par waggon, à 1 kilomètre. . . . 0 fr. 49

[1] La dépense, pour le transport des voyageurs et des marchandises à Gênes et Pontedecimo, se décompose de la manière suivante :
Le nombre de waggons de voyageurs transportés à 1 kilomètre étant de. . 57.450
Le nombre de tonnes brutes de 375,424
On trouve, pour les

FRAIS DES CONVOIS DE VOYAGEURS

1° Pour surveillance et entretien de la voie.	2,645 fr.	60 c.
2° Pour traction. Le coke coûtant 0 fr. 65 cent. le kilog.	5,105	00
3° Pour réparations des machines, 4,300 kilom. à 0 fr. 35 cent.	1,505	00
4° Pour réparation des voitures, 57,450 kilom. à 0 fr. 016 par voiture et par kilomètre.	919	20
5° Pour gardes-convois.	550	00
	10,724 fr.	80 c.

Une voiture de voyageurs transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{10{,}724 \text{ f. } 80 \text{ e.}}{57{,}450}$ = 0 fr. 19 cent., ou bien par tonne brute 0 fr. 029.

Le nombre de waggons transportés à 1 kilom. étant de. 66,297
Le nombre de tonnes brutes de. 348,048
Celui de tonnes nettes de. 217,564
On trouve pour les

FRAIS DES CONVOIS DE MARCHANDISES

1° Pour surveillance et entretien de la voie.	3,482 fr.	40 c
2° Pour traction. Le coke coûtant 0 fr. 65 cent. le kilog.	6,719	80
3° Pour réparations des machines, 6,550 kilom., à 0 fr. 35 cent.	1,981	00
4° Pour réparation des waggons, 66,297 kilom. à 0 fr. 013 cent. . . .	861	86
5° Pour deux gardes de marchandises.	200	00
	13,245 fr.	06 c.

Une voiture de marchandises transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{13{,}245 \text{ f. } 06 \text{ e.}}{66{,}297}$ = 0 fr. 20 cent. pour monter et descendre.
La tonne brute revient à 0 fr. 038 par kilomètre en montant ;
la tonne nette 0 fr. 061 cent. en montant.
En admettant, pour les deux cas, le mouvement nul en descendant.

Par tonne brute.	0	092
Par tonne nette[1].	0	149

D'où il suit que :

3° Sur la partie où la pente atteint 3 1/2 centièmes, la dépense est, pour les trains de voyageurs, le double de ce qu'elle est sur d'autres portions de la ligne où le maximum de l'inclinaison n'est que de 1 centième, et, pour ceux de marchandises, égale à deux fois et demie cette dépense.

D'un autre côté, rappelons-nous qu'aux chemins de l'Est la dé-

[1] La dépense, pour le transport des voyageurs et des marchandises, se décompose de la manière suivante :

Le nombre des waggons transportés à un kilomètre de Pontedecimo à Busalla étant de. 20,895

Celui des tonnes brutes de. 135,806

On trouve pour les

FRAIS DES CONVOIS DE VOYAGEURS

1° Surveillance et entretien de la voie.	1,448 fr.	10 c.
2° Traction.	4,212	01
3° Réparation des machines, 1,974 kilom. à 0 fr. 80 cent.	1,579	20
4° Réparation des voitures, 20,895 kilom. à 0 fr. 16 cent.	334	32
5° Gardes-convois.	200	00
	7,773 fr.	63 c.

Une voiture de voyageurs transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{7{,}773 \text{ f. } 63 \text{ c.}}{20{,}895} = 0$ fr. 37 cent., ou bien par tonne brute 0 fr. 057 e.

Le nombre des waggons de marchandise transportés à un kilomètre étant de 57,477

Le nombre de tonnes brutes. 301,749

Celui de tonnes nettes. 186,795

On trouve pour les

FRAIS DES CONVOIS DE MARCHANDISES.

1° Surveillance et entretien de la voie	5,391 fr.	90
2° Traction	15,683	04
3° Réparation des machines, 7,350 kilom., à 0 fr. 80 cent.	5,880	00
4° Réparation des waggons, 57,477 (1), à 0 fr. 013 cent.	747	20
5° Gardes convois	200	00
	27,902 fr.	14 c.

(1) $57{,}477 = 10{,}5 \times 2 \times 2{,}737$.

Une voiture de marchandises transportée à 1 kilomètre revient donc à $\frac{27{,}902 \text{ f. } 14 \text{ c.}}{57{,}477} = 0$ fr. 49 e. pour monter et descendre.

La tonne brute revient à $\frac{27{,}902 \text{ fr. } 14 \text{ c.}}{10{,}5 \times 28{,}758} = 0$ fr. 092 m. par kilom. en montant.

La tonne nette $\frac{27{,}902 \text{ f. } 14 \text{ c.}}{10{,}5 \times 17{,}790} = 0$ fr. 149 m. par kilom. en montant.

Le mouvement des marchandises en descendant étant supposé nul.

pense moyenne pour les trains de toute espèce est, sur les pentes de 9 millimètres de l'embranchement de Reims (voir la note, page 104) de 75 pour 100 environ plus forte que sur les autres portions du chemin où le maximum de la pente ne dépasse pas 5 millièmes, et nous conclurons que sur une pente de 3 1/2 centièmes, avec des courbes de 400 à 800 mètres de rayon, cette dépense serait de 3 1/2 à 4 1/2 fois aussi forte que sur une pente de 5 millièmes.

Le prix de 0,37 par waggon de voyageurs à 1 kilomètre ferait ressortir le prix du voyageur à un kilomètre, si le waggon renfermant 24 voyageurs était entièrement plein à 1c,5 environ, ou si le waggon ne portait moyennement que la moitié de sa charge à 3 centimes. Ce prix laisserait encore un bénéfice raisonnable en France, où le tarif moyen payé par les voyageurs est de 6 à 7 centimes par kilom.

Quant aux marchandises, il y en a beaucoup qui supporteraient difficilement un tarif qui devrait nécessairement dépasser 15 centimes par kilomètre, du moins sur un chemin où la pente de 3 1/2 centièmes dominerait.

Mais des pentes aussi fortes ne se rencontrant que sur une partie du parcours, le tarif ne se règlerait que sur une dépense moyenne inférieure, dépendant de leur longueur relative.

Les chiffres fournis par M. Koller expriment les résultats d'expériences faites avec le plus grand soin pendant un mois sur le chemin de Turin à Gênes; on a trouvé, en 1854, pour la moyenne de la dépense de toute l'année :

	En montant.	En montant et descendant.	En moyenne, de Turin à Gênes.
Par voyageur à 1 kilomètre. . .	0 fr. 085 c.	0 fr. 043 c.	0 fr. 027 c.
Par tonne de bagages et messagerie.	0 » 271	0 » 181	0 » 155
Tonne de marchandises à petite vitesse	0 » 145	0 » 109	0 » 145
Équipages.	0 » 802	0 » 498	0 » 241
Pièce de bétail, grande vitesse.	0 » 264	0 » 066	0 » 055
Id. petite vitesse .	0 » »	0 » 020	0 » 018

Sur le chemin de Vienne à Trieste, au Sommering, bien que la pente soit moins forte qu'au chemin de Turin à Gênes, puisqu'elle ne dépasse pas 2 1/2 centièmes, le rayon des courbes descendant à

180 mètres, la dépense est, proportion gardée, plus élevée que sur le chemin piémontais.

Sur le chemin saxo-bavarois, on estime que la dépense sur les pentes de 2 1/2 centièmes est égale à peu près à deux fois et demie celle sur les pentes de 1 centième. (Voir plus loin la description du tracé de ce chemin.)

Sur le chemin de Rohrschach à Saint-Gall, la pente moyenne étant de 17 millimètres 70 millièmes, la pente maxima de 20 millimètres, le rayon moyen des courbes de 390 mètres, et le rayon minimum de 240 mètres, la dépense est, d'après M. Koller, deux fois et demie aussi forte que sur le chemin de Vintherthur à Saint-Gall, où la pente ne dépasse pas 6 1/2 millimètres et où les courbes sont d'assez grand rayon.

Ce n'est qu'en admettant des pentes de 20 à 35 millièmes qu'on a pu traverser les Alpes noriques et juliennes entre Vienne et Trieste, les Alpes rudes entre Heilbronn et Friedrichshafen, le Fichtelgebirge entre Newmarkt et Marckschorgast, et les Alpes génoises entre Turin et Gênes. C'est ainsi que l'on traversera le Jura entre Pontarlier et Lausanne, Pontarlier et Neufchâtel, le Luckmanier entre Coire et Bellinzone.

Les pentes dépassant 20 millimètres ne se trouvent pas en Europe uniquement sur les chemins allemands, suisses ou italiens. En Angleterre même, on rencontre sur le chemin de Birmingham à Gloucester une rampe de 27 millimètres, longue de 3,440 mètres; sur celui d'Édimbourg à Glasgow, une rampe de 24 millimètres sur 2,400 mètres de longueur, et une rampe de 20 millimètres sur celui de Manchester à Leeds. Sur les chemins aboutissant au port d'Hartlepool, on remonte des pentes plus fortes encore; mais ces chemins sont plutôt consacrés au transport du charbon qui descend vers ce port qu'à celui des voyageurs.

La question des pentes fortes sur les chemins de fer et de l'emploi des locomotives pour les remonter a été traitée d'une manière tout à fait supérieure par M. Couche, ingénieur en chef des mines, dans un article des *Annales des mines* intitulé : *Influence du progrès des locomotives sur le tracé des chemins de fer*[1].

[1] *Annales des mines*, 2e livraison de 1852.

Nous engageons ceux de nos lecteurs qui voudraient l'approfondir à consulter ce mémoire.

Bien des personnes pensent que l'on pourrait dépasser même les pentes que nous venons d'indiquer en gravissant ces fortes rampes à l'aide de machines fixes. C'est ainsi que l'on a établi un grand plan incliné aux abords de la ville de Liége et qu'on l'a desservi à l'aide de machines fixes. Mais l'emploi des plans inclinés à machines fixes sur les chemins de fer a l'inconvénient d'occasionner une grande gêne dans le service de l'exploitation ainsi que de grands retards, et il n'a pas même l'avantage qu'on serait tenté de lui supposer de réduire notablement les frais de construction. En effet, le tracé sur ces sortes de plans inclinés n'admettant pas de grandes sinuosités et des pentes variées, on se trouve conduit, pour le plier à ces conditions, à exécuter des travaux d'art et de terrassement souvent considérables. C'est ainsi que sur le plan incliné de Liége, long de 4,000 mètres, le cube des terrassements s'est élevé à 360,000 mètres cubes.

Les transports s'effectuent aussi avec économie sur une pente de 5 à 6 millièmes. Sur le chemin de Rive-de-Gier à Givors (partie du chemin de Saint-Étienne à Lyon), les chariots descendent par l'effet seul de la gravité et remontent à l'aide de machines ou de chevaux.

Si par nécessité toutefois ou par raison d'économie, sur de petites lignes de second ordre, on fait usage de plans inclinés, on peut sans inconvénient leur donner, pour le transport des marchandises, l'inclinaison naturelle du sol, quelque forte qu'elle soit; mais on ne saurait transporter sans danger des voyageurs sur des pentes qui dépassent celles des plans inclinés du chemin de Roanne à Saint-Étienne, et dont la limite est de 5 centièmes.

L'autorité, en Angleterre, a défendu tout transport régulier de voyageurs sur le chemin de Cromfort à Peakforest dans le Derbyshire, parce que la pente s'y élevait en plusieurs points jusqu'à 11 centièmes.

Le chemin doit, autant que possible, entrer dans les stations extrêmes en rampes de 2 ou 3 millièmes. Ces rampes ont un double but, celui de ralentir les convois à l'arrivée et celui d'en faciliter le départ.

Dans les stations intermédiaires, où les trains partent tantôt dans une direction, tantôt dans l'autre, et où l'on est obligé quelquefois de faire pousser les waggons sur les voies de garage par des hommes dans tous les sens, le rail doit être de niveau.

Il faut aussi établir le chemin de niveau à l'emplacement des changements de voie ou dans toute autre partie où la résistance se trouve déjà augmentée par d'autres causes que la pente.

Nous avons dit que la théorie des machines locomotives était encore trop incomplète et le mode de construction de ces machines encore trop variable pour qu'on pût déterminer, par des calculs certains, des rapports mathématiques entre les dimensions de ces moteurs et le tracé d'un chemin de fer. Nous indiquerons néanmoins, au chapitre des locomotives, quelle est la marche que l'on doit suivre si on veut se contenter d'approximations. On prend alors pour types certains modèles de machines en usage et pour base du calcul certains résultats d'expérience.

ÉTENDUE DES GARES ET DIMENSIONS DE LA VOIE.

Étendue des gares. — Nous avons montré que le choix de l'emplacement d'une gare n'était pas toujours sans influence sur le tracé. L'étude des gares, du moins en ce qui concerne leur emplacement et leur étendue, doit donc avoir lieu en même temps que celle du tracé de la ligne proprement dite.

Il nous reste à présenter quelques considérations à ce sujet.

Déjà nous avons signalé les inconvénients et les avantages des gares communes; nous avons essayé de faire comprendre que les gares extrêmes doivent être établies à une plus ou moins grande distance du centre des villes, suivant que les terrains sur lesquels le chemin de fer doit être construit dans l'intérieur de la ville sont plus ou moins coûteux, suivant la longueur du chemin, la nature du tonnage, etc. Nous avons dit aussi combien il importait d'éloigner les gares de voyageurs ou de marchandises des tranchées ou des souterrains courbes.

Il est rare que, quelque soin qu'ait pris un ingénieur de placer

une gare à la plus petite distance possible des villes que le chemin de fer dessert, les conseils municipaux de ces villes ne tentent d'obtenir par la voie des enquêtes des modifications dans le tracé ayant pour but de le conduire plus près encore du centre. Il faut prévoir cette opposition et réunir à l'avance tous les éléments nécessaires pour la combattre[1].

Il ne suffit pas qu'une station soit à proximité des quartiers populeux d'une ville, il faut encore que les abords en soient faciles. C'est une des principales conditions à remplir.

Il n'est pas moins utile de donner à la station l'étendue nécessaire aux besoins du service. Cette étendue varie suivant la nature et l'importance de ce service.

L'étendue d'une gare extrême de chemin de fer est ordinairement considérable. Dans les grandes villes, où viennent se croiser des chemins de fer qui traversent le pays d'une extrémité à l'autre et auxquels viendront se souder dans l'avenir une infinité de branches plus ou moins longues, on ne saurait faire les gares trop vastes.

Personne ne peut prévoir quelle limite atteindra un jour le mouvement toujours croissant des voyageurs et des marchandises, et, si on n'agrandissait les gares qu'au fur et à mesure des besoins, on s'exposerait à payer à un prix exorbitant les terrains nécessaires.

Il y a une dizaine d'années, on considérait comme assez spacieuse, pour un service de voyageurs seulement, une gare de deux hectares environ, telle que la gare du chemin de Saint-Germain à Paris, commune au chemin de Versailles, rive droite, et de Paris à Rouen; mais cette gare, déjà trop exiguë pour ces trois chemins, a dû être considérablement agrandie afin de pouvoir raccorder le chemin de Versailles, rive droite, avec celui de l'Ouest.

Le plan ci-joint indique l'espace occupé par l'ancienne gare et

[1] Le chemin de Nancy à Thionville, par Metz, possède deux gares aux abords de cette dernière ville. C'est le seul exemple que nous connaissions d'une ville aussi peu importante desservie par deux gares. La Compagnie n'en avait projeté qu'une seule. C'est le conseil municipal de Metz qui, par sa vive opposition, est parvenu à obtenir du conseil des ponts et chaussées l'établissement de la seconde.

celui dans lequel se trouvait renfermée la gare actuelle l'année dernière. Cette gare vient encore d'être agrandie.

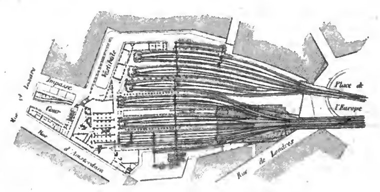


Fig. 7. — Plan de la gare des chemins de l'Ouest à Paris.

La gare des voyageurs du chemin de fer du Nord à Paris couvre un espace de 7 hectares 90 ares, et elle semble insuffisante, puisque la Compagnie est sur le point d'en établir une nouvelle dans le quartier des Champs-Élysées.

Celle du chemin de Strasbourg, occupant dans l'origine 4 hectares 37 ares, était beaucoup trop petite. La surface du terrain acheté pour l'agrandir est de 1 hectare 23 ares, ce qui porte sa contenance à 5 hectares 60 ares.

Mais c'est bien plus encore les gares pour les marchandises et les gares pour les ateliers que l'on sent aujourd'hui la nécessité d'augmenter. Tant qu'on s'est figuré que les chemins de fer n'étaient guère propres qu'aux transports des voyageurs, on s'est médiocrement préoccupé des dispositions à prendre pour le service des marchandises; mais les faits n'ont pas tardé à démentir cette idée fausse, et sur toutes les lignes importantes, en Angleterre et en France, on augmente aujourd'hui les gares de marchandises. Partout on a reconnu que les anciennes étaient trop petites, non-seulement parce que le chiffre du mouvement des marchandises s'était élevé, mais aussi parce que les manœuvres dans les magasins ne pouvaient se faire avec rapidité et économie si l'espace était trop restreint.

En Angleterre, où cependant on devait être préparé à d'énormes transports de marchandises, où l'emploi des moyens mécaniques était depuis longtemps perfectionné, et où l'exploitation des canaux avait dû fournir des données précieuses sur le mouvement et l'emmagasinage de la marchandise, les gares des principaux chemins de fer ont subi ou doivent subir d'importantes modifications qui toutes ont pour objet, en accroissant l'étendue, en multipliant les quais et les hangars, de donner de nouvelles facilités au commerce et d'introduire de notables économies dans la manutention. Ces changements ne s'opèrent qu'avec des difficultés qui ne peuvent pas toujours être levées par de grands sacrifices d'argent.

Au chemin du Nord, la gare de la Chapelle, contenant une gare de marchandises et de grands ateliers de réparation, a 34 hectares 80 ares de superficie. Les ateliers occupent 14 hectares, et la gare des marchandises 20 hectares 8/10.

La gare de la Villette au chemin de Strasbourg, dont la contenance ne devait être, d'après les premiers projets, que de 6 hectares 28 ares, a été, depuis, considérablement augmentée, et son étendue est aujourd'hui de 34 hectares 50 ares, dont 9 hectares environ ont été consacrés à l'établissement d'une vaste carrosserie et de ses dépendances ainsi qu'à des remises de locomotives et de waggons, et 20 hectares seront affectés exclusivement aux voies principales et aux voies des marchandises. Il est vrai qu'en lui donnant d'aussi grandes dimensions on a eu en vue, non-seulement l'exploitation du chemin de Strasbourg, mais encore celle des autres chemins de fer de l'Est de la France.

Au chemin de Rouen, la gare des Batignolles a 31 hectares 70 ares de superficie; 12 hectares 60 ares sont consacrés au service des marchandises, et le reste à des ateliers, remises, chantiers, voies, etc. A Bercy, la gare du chemin de Lyon occupe 24 hectares 80 ares, sur lesquels 9 hectares 11 ares servent à loger de grands ateliers, et le reste les bâtiments ainsi que les cours du service des marchandises.

Ce n'est qu'à la condition de créer des gares de marchandises extrêmes et même des gares intermédiaires très-vastes que les chemins de fer peuvent lutter avantageusement avec les voies navigables

pour le transport des objets de peu de valeur, dont le volume est souvent considérable, et qui doivent être approvisionnés en grandes quantités pour pouvoir être transportés économiquement par convois complets.

Les gares de marchandises exigeant une aussi grande étendue de de terrain, il devient presque toujours impossible de les loger dans l'intérieur des villes. C'est une des raisons pour lesquelles on les place en dehors, ou au moins dans les faubourgs.

Nous avons vu que les ateliers principaux, souvent contigus aux gares de marchandises extrêmes, occupent aussi un grand espace. Le chemin de Strasbourg, indépendamment de la carrosserie voisine de la gare des marchandises de la Villette, possède à Epernay, pour la réparation des locomotives, un grand atelier qui couvre une surface de 9 hectares et des ateliers auxiliaires près de Metz. Lorsque le chemin de Paris à Mulhouse sera livré à l'exploitation, un nouvel atelier aussi vaste que le premier deviendra nécessaire à Mulhouse.

Les gares intermédiaires, qui généralement admettent le service des marchandises aussi bien que celui des voyageurs, varient d'étendue suivant leur importance.

On peut les diviser, ainsi que nous l'avons fait, M. Polonceau et moi, dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*, en six classes, comme suit :

Première classe. — Gares de passage hors ligne, telles que celles de Lyon, d'Orléans, de Tours, de Strasbourg, de Metz et de Nancy, et gares d'embranchement, où se trouvent ordinairement un dépôt de machines, des ateliers de réparation plus ou moins considérables, un buffet, etc., telles que celles de Montereau, Troyes, Épernay, Vierzon, Poitiers, Amiens et Lille.

Souvent les stations d'embranchement sont en même temps des stations hors ligne.

Deuxième classe. — Stations intermédiaires de première classe, admettant un mouvement considérable de voyageurs et un mouvement plus ou moins important des marchandises.

Troisième classe. — Stations de banlieue des chemins parisiens. où le mouvement des voyageurs est très-grand, et celui des marchandises nul.

Quatrième classe. — Stations intermédiaires de seconde classe,

qui, pour l'ensemble du mouvement, peuvent être comparées à celles de Lagny, la Ferté-sous-Jouarre, etc.

Cinquième classe. — Stations intermédiaires de troisième classe, telles que celles d'Ars-sur-Moselle, Brunoy, etc., etc.

Sixième classe. — Stations très-petites, où le mouvement des voyageurs est très-peu considérable et le mouvement des marchandises insignifiant.

Des tableaux publiés dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*, qui donnent les dimensions d'un grand nombre de stations de différentes classes des chemins français et étrangers, il résulte que :

La surface occupée par les grandes gares intermédiaires hors ligne et par les gares terminales autres que les gares parisiennes, celles de Londres et de Bruxelles, abstraction faite de celles de Pesth, de Lyon et de Valenciennes, qui sont exceptionnelles, serait de 8 à 12 hectares.

Par les stations d'embranchement, abstraction faite de celle d'Épernay, qui contient de vastes ateliers, et de celle de Juvisy, qui est exceptionnellement petite, de 6 1/2 à 7 hectares.

Par les stations de banlieue :

1° D'un chemin placé dans les conditions du chemin d'Auteuil, de 3,000 à 4,000 mètres carrés ;

2° D'un chemin placé dans les conditions probables du chemin de Vincennes, de 10,000 à 20,000 mètres carrés.

Par les stations intermédiaires de première classe, de 3 à 6 hectares 1/2, suivant l'importance et la nature du mouvement des marchandises.

Par les stations intermédiaires de deuxième classe, 2 hectares 1/2 environ.

Par celles de troisième classe, de 1 1/2 à 2 hectares.

Par celles du dernier ordre, de 1/2 à 1 hectare, rarement 1 hectare.

Le bâtiment des voyageurs, dans les stations hors ligne, est beaucoup plus grand que dans les stations intermédiaires de première classe. Cela tient souvent à ce qu'il contient un grand buffet.

Dans les stations d'embranchement, le bâtiment est également

plus grand que dans les stations de première classe, et se rapproche, pour l'étendue, du bâtiment des stations hors ligne; cela tient encore à la présence d'un buffet.

La partie consacrée aux voyageurs, abstraction faite du buffet, ne s'éloigne pas beaucoup, pour l'étendue, de la partie correspondante dans les stations de première classe.

Le bâtiment des stations de banlieue est généralement petit, eu égard au grand nombre de voyageurs : sa surface ne dépasse pas 435 mètres (Enghien); mais la surface des marquises ou halles couvertes est très-grande (chemins d'Auteuil et de Vincennes, Saint-Mandé).

La surface du bâtiment des voyageurs, pour les stations de première classe, varie de 400 à 450 mètres carrés.

Pour celles de deuxième classe, de 275 à 330 mètres carrés; pour celles de troisième classe, de 200 mètres carrés; celles du dernier ordre sont de moins de 100 mètres carrés.

L'étendue de l'espace consacré au service des marchandises, dans les différentes stations intermédiaires, diffère sensiblement, suivant l'importance très-variable de mouvement et suivant la nature des marchandises manutentionnées.

Il en est de même de la surface couverte. Cette surface varie ordinairement de 5 à 20 mètres par tonne de marchandises.

Une même surface couverte pouvant aisément servir pour un nombre plus ou moins considérable de voyageurs, selon que le nombre des trains desservant la station chaque jour est plus ou moins grand, il ne faudrait pas établir la même proportionnalité entre le nombre des voyageurs et la surface couverte qu'entre la quantité de marchandises.

Dimensions de la voie. — Après avoir déterminé l'emplacement et l'étendue des gares, il faut, pour compléter l'étude du chemin telle qu'elle doit être faite avant que l'on commence les travaux fixer les dimensions de la voie et de ses dépendances.

La largeur de la voie sur tous les chemins de fer servant au transport des voyageurs, en France et en Belgique, ainsi que sur la plupart des chemins anglais, est de $1^m,50$ à $1^m,51$ d'axe en axe des

rails, ou de 1^m,44 à 1^m,46 seulement, si on la mesure de la face intérieure des rails.

Au chemin de Londres à Yarmouth, dit *Eastern-Counties-Railway*, la voie a été établie avec 1^m,52 de largeur; sur les chemins de Dundee à Arbroath, et d'Arbroath à Forfar, cette largeur est de 1^m,68. Sur les chemins d'Irlande, et sur celui de Saint-Pétersbourg à Paulosk, on l'a portée à 1^m,85; sur ceux de Hollande, à 1^m,95; enfin, sur le chemin de Bristol, M. Brunel a adopté une voie large de 2^m,13 de dedans en dedans, ou moitié en sus de la distance usitée de 1^m,44. En Espagne, on a adopté la largeur de 1^m,70.

Le tableau suivant indique la longueur des chemins à voies étroites et à voies larges construits en Angleterre, en 1853, ainsi que celle des chemins de fer sur lesquels on a posé trois files de rails, afin de pouvoir marcher sur des voies de deux largeurs différentes.

Chemins de fer anglais exploités au 31 décembre 1853.

	VOIE ÉTROITE (1^m,44).	VOIE D'IRLANDE (1^m,70).	VOIE LARGE (2^m,13).	VOIE MIXTE.	TOTAL.
Angleterre. . . .	8,252 k	»	1.007 k	153 k	9,412 k
Écosse.	1,600	»	»	»	1,600
Irlande.	13	1,348 k	»	»	1,361
TOTAUX. . . .	9,865 k	1,348 k	1,007 k	153 k	12,373 k

Le but que l'on s'est proposé principalement en agrandissant l'espace entre les rails est de se ménager la possibilité de construire des machines locomotives plus larges avec des roues d'un plus grand diamètre, munies de chaudières plus puissantes, et, par suite, capables de marcher à des vitesses supérieures.

Quelques fabricants de machines ont aussi demandé que la voie fût élargie, afin, disaient-ils, que, les pièces du mécanisme placées

entre les roues occupant un plus grand espace, il en résultât plus de facilité dans la construction et l'entretien.

La controverse sur la question de savoir quelle était la largeur de voie la plus convenable a été très-vive, surtout entre les ingénieurs anglais. Une commission a été nommée par le gouvernement anglais pour l'examiner. Voici quelles ont été les conclusions du rapport qu'elle a publié :

1° L'élargissement de la voie ne présente aucun avantage en ce qui concerne la sûreté et le confort des voyageurs.

2° On peut, avec de larges voies, atteindre de plus grandes vitesses qu'avec les voies ordinaires; mais il y aurait du danger à dépasser le maximum de vitesse obtenu sur les voies ordinaires avec des chemins construits comme le sont les chemins actuels. (Cette vitesse, avec les nouvelles machines de Crampton, peut atteindre de 100 à 110 kilomètres par heure.)

3° La voie ordinaire est préférable pour le transport des marchandises, elle est mieux appropriée aux exigences du commerce.

4° L'usage des larges voies nécessite de plus grandes dépenses d'établissement, et la réduction qui en résulterait dans les frais d'entretien et de locomotion ne paraît pas être de nature à compenser l'accroissement des premiers frais.

5° Il est très-important que, dans un même pays, la largeur de la voie soit uniforme. On éprouve de grands inconvénients des différences de largeur des voies du chemin de Bristol et du chemin de Glocester, et on a dépensé une somme considérable pour ramener, sans interrompre l'exploitation, la voie du North-Eastern-Railway à la dimension ordinaire (1^{m},44).

6° Le mécanisme des nouvelles machines étant beaucoup plus simple que celui des anciennes et étant placé en grande partie, ainsi que les cylindres, en dehors des roues, l'objection des fabricants qui réclamaient une plus grande largeur de voie, afin de le loger plus facilement, est devenue sans valeur.

7° La commission ne voit donc aucune raison pour opérer un changement dans la largeur de la voie (1^{m},44 intérieurement).

Nous avons exprimé, dans la première édition de cet ouvrage, une opinion semblable à celle de la commission anglaise; mais

nous nous rangeons à l'opinion de M. Polonceau, qui a une plus grande expérience que nous de la construction des machines, et qui est d'un avis contraire.

L'agrandissement de la voie est, du reste, impossible dans des pays comme la France, la Belgique, l'Allemagne, etc., où de grands réseaux sont déjà livrés à l'exploitation, et où il serait très fâcheux d'introduire de nouvelles lignes avec une voie différente. Mais il y aurait sans doute des avantages à adopter une voie plus large dans certains pays comme la Russie ou l'Espagne, qui ne possèdent encore qu'un très-petit nombre de chemins de fer. En Russie, surtout, où le terrain est peu coûteux, et où les ouvrages d'art, les grandes tranchées et les grands remblais sont peu nombreux, la voie large semble devoir obtenir la préférence.

En France, sur plusieurs lignes récemment construites, on a augmenté la largeur entre les faces intérieures des rails d'environ 1 centimètre, afin de faciliter le mouvement oscillatoire des roues connu sous le nom de lacet. Une différence aussi légère entre les nouvelles et les anciennes voies n'oblige en aucune manière à employer des machines différentes.

La largeur de l'entre-voie (espace entre les deux voies parallèles), sur la plupart des chemins de fer de France et de Belgique, est de $1^{m},80$; sur le chemin de Lyon, elle est de $2^{m},20$; sur le chemin de Londres à Birmingham, de $1^{m},92$; sur le chemin de Bristol, de $1^{m},87$; sur le chemin de Bruxelles à Mons, de $2^{m},50$.

On détermine la largeur de l'entre-voie de manière que, deux convois qui marchent en sens contraire venant à se croiser, il reste entre les caisses des voitures un espace libre assez grand pour que les marchepieds ne puissent se choquer et que les voyageurs ne puissent se blesser en sortant la tête par la portière.

La largeur de l'entre-voie sur le chemin de Lyon nous paraît la plus convenable. Nous ne verrions même que des avantages à l'augmenter de quelques centimètres. On pourrait alors donner un peu plus de largeur aux caisses des voitures et établir au dehors des galeries qui seraient d'une grande utilité.

Sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, l'entre-voie n'étant que de 1 mètre, on s'est trouvé fort gêné pour la construction des voi-

tures, et on a été obligé de leur donner une grande longueur en faisant porter la caisse sur deux trains séparés.

Sur le chemin de Liverpool à Manchester, construit vers la même époque que celui de Saint-Étienne à Lyon, l'entre-voie est plus grande; elle est de 1^{m},55.

Si le matériel du chemin de Paris à Mulhouse n'eût pas dû circuler sur toutes les autres lignes du réseau de l'Est, on eût certainement donné 2^{m},20 au moins de largeur à l'entre-voie de ce chemin; mais, eu égard à cette circonstance, on s'est borné à adopter la largeur de 2 mètres, qui est de 20 centimètres plus grande que celle du chemin de Paris à Strasbourg, uniquement parce qu'il a été reconnu que, avec la largeur de 1^{m},80 et le matériel ordinaire, le service était souvent dangereux. On a aussi adopté cette largeur de 2 mètres pour les nouvelles lignes du réseau du Nord.

Pour les chemins du Midi, l'entre-voie sera de 1^{m},86.

La largeur des accotements varie ainsi que l'inclinaison des talus avec la nature des terrains. Elle doit être d'autant plus grande que le sol sur lequel repose la voie est plus mauvais. Ainsi, sur les remblais en terrains ordinaires, elle est de 0^{m},50 plus grande que dans les tranchées. Lorsque le terrain est marécageux, c'est au contraire dans les tranchées qu'elle est la plus grande. Dans certains terrains de ce genre, elle est de 3 mètres en tranchée et de 1^{m},50 à 2 mètres en remblai.

Cette largeur est nécessaire pour que l'ébranlement produit lors du passage des convois ne puisse déterminer facilement des éboulements et pour que, dans le cas où des éboulements auraient lieu, les voies ne puissent pas être entraînées ou couvertes facilement.

On proportionne aussi la largeur de l'accotement à la résistance que présente le ballast au déplacement latéral des traverses. Plus le ballast est résistant, moins il est sujet à *couler*, plus est faible la largeur de l'accotement.

Sur le chemin de Bristol, en terrain ordinaire, la distance de la face extérieure du rail à la crête du remblai ou à l'arête du fossé est de 1^{m},45; sur le chemin de Liverpool à Manchester, de 1^{m},52; sur celui de Londres à Birmingham, de 2^{m},20; sur les nouveaux chemins belges, elle est de 1^{m},75.

Sur les chemins de fer français récemment construits, elle doit être, aux termes du cahier des charges, en bon terrain, de 1 mètre en déblai et de $1^m,50$ en remblai.

Dans les souterrains, et quelquefois sur les ouvrages d'art, on diminue la largeur de l'accotement afin de réduire la dépense. Les eaux s'écoulent alors par un fossé ou par un aqueduc placé au milieu. Il ne faut pas oublier qu'une trop grande réduction de la largeur de l'accotement dans les souterrains peut exposer à de graves accidents.

La largeur des fossés creusés le long de la chaussée dans la tranchée et le long des talus des tranchées ou des remblais, et, en général, toutes leurs dimensions, doivent être en rapport avec le maximum de la quantité d'eau qu'ils sont destinés à recevoir.

Au chemin de Strasbourg, dans une partie du chemin voisine de Nancy, les fossés étant de dimensions insuffisantes pour donner écoulement aux eaux au moment d'une grande crue, la chaussée a été inondée, le ballast a été enlevé, et la voie dérangée à tel point, qu'il en est résulté le déraillement d'un convoi, accident qui aurait pu avoir les plus graves conséquences.

Il est donc de la plus haute importance de préserver aussi bien que possible, par des moyens quelconques, tous les ouvrages d'un chemin de fer, et notamment la voie, du contact des eaux, soit souterraines, soit pluviales. On ne doit rien épargner pour atteindre ce but.

Les règles qui servent à déterminer l'inclinaison des talus des tranchées ou des remblais pour les routes ou pour les canaux s'appliquent aussi aux chemins de fer. Nous devons néanmoins faire observer que, sur un chemin de fer, les conséquences d'un éboulement sont bien autrement graves que sur une route ordinaire, bien plus difficiles à réparer, et que les dépenses pour modifier les talus d'une tranchée, une fois le chemin en activité, sont bien plus considérables.

Il est donc essentiel, sur un chemin de fer, de déterminer l'inclinaison des talus avec assez d'exactitude pour qu'il ne devienne pas nécessaire de les retoucher après l'ouverture du chemin.

Sur le chemin d'Alais à Beaucaire, l'éboulement du talus d'une

tranchée a occasionné, en barrant la voie, la rupture d'une locomotive et de plusieurs waggons chargés de charbon. Sur celui de Londres à Bristol, un accident du même genre a eu pour conséquence la mort de plusieurs voyageurs. Sur le chemin de Versailles (rive gauche), dans la grande tranchée de Clamart, la rectification d'une partie des talus, après l'ouverture du chemin, a exigé une dépense double de celle qui eût été nécessaire pour le même travail s'il eût été fait de prime abord.

L'angle sous lequel se soutiennent les talus des tranchées varie suivant la nature du terrain. On trouvera de précieuses indications à cet égard dans l'ouvrage de M. Minard *sur les ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux*, et dans l'ouvrage anglais de Brees, traduit en français sous le nom de *Science pratique des chemins de fer*.

Quel que soit cet angle, il ne faut pas oublier que tel terrain qui résistera avec un talus d'une grande inclinaison avant d'être exposé aux intempéries de l'air pourra s'ébouler sous le même angle lorsqu'il en aura subi l'influence. Certains schistes, surtout, s'attendrissent en peu de temps au contact de l'air.

Lorsque le terrain est très-coulant, les talus ne se soutiennent sous aucun angle, et il faut dans ce cas employer différents moyens que nous indiquerons au chapitre des terrassements.

Anciennement, on était dans l'usage de ménager, sur les talus des grandes tranchées, à une petite hauteur au-dessus du fossé, une

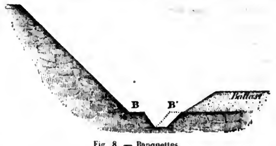


Fig. 8. — Banquettes.

banquette d'environ $0^m,30$ de largeur, sensiblement inclinée contre les talus. Cette banquette avait pour but d'empêcher les petites

pierres qui se détachent des talus, surtout par l'action de la gelée et du dégel, de descendre dans le fossé et de l'obstruer. Elle recevait aussi, comme lieu de dépôt momentané, des boues dépendant du nettoyage des fossés. Aujourd'hui on supprime la banquette B (fig. 7), et on remplace le profil en ligne pleine au bas du talus par le profil en ligne ponctuée. La banquette se trouve alors transportée en B' le long de la chaussée, et elle sert en même temps au dépôt momentané des boues et à la circulation des cantonniers.

Quant aux pierres détachées des talus, elles descendent dans le fossé, d'où on les retire en le nettoyant.

Quelques ingénieurs, cependant, ayant remarqué que les boues déposées sur la banquette qui longe la voie nuisaient à l'écoulement des eaux qui traversent la chaussée et gênaient pour la circulation, ont maintenu la banquette sur le talus.

On a aussi ménagé des banquettes ou construit des cavaliers du côté des vents dominants et planté des arbres.

Souvent encore on a établi d'autres banquettes espacées de quatre mètres en quatre mètres; elles divisent les lignes de plus grandes pentes de talus en plusieurs parties sur lesquelles les eaux pluviales ne peuvent pas acquérir une vitesse capable de les raviner. Néanmoins l'expérience a démontré que ces banquettes étaient plutôt nuisibles qu'utiles si on ne les disposait pas en forme de fossés dans toute leur longueur. Dans ce cas, on donne écoulement aux eaux de ces fossés au moyen de rigoles en maçonnerie établies de distance en distance sur la surface des talus.

Sur certains chemins de fer, celui de Lyon, par exemple, on a placé avec avantage des cavaliers ou des petits murs au sommet des talus des tranchées.

Au chemin de Strasbourg, dans les mois de février et décembre 1853, et dans les premiers jours de janvier 1854, des encombrements de neige ont, sur divers points, forcé à suspendre la marche des trains. Ces encombrements ont été produits par des quantités de neige considérables qu'une tempête de vent ouest-sud-ouest balayait dans la plaine et chassait dans les tranchées. Ce sont surtout les tranchées peu profondes qui ont été comblées; les grandes tranchées ont été épargnées, les neiges se sont accumulées dans le haut

des talus, mais sans s'étendre sur la voie de fer. Dans les parties boisées, les tranchées peu profondes ont été préservées des neiges aussi bien que celles d'une grande profondeur.

Pour se préserver autant que possible de ces envahissements de la neige, les clôtures sèches ont été remplacées par des écrans en planches. Ces écrans ont produit un assez bon effet; et nous en avons fait usage fréquemment depuis lors.

« Les accumulations de neige, dit M. Muntz, ont lieu principalement du côté des vents dominants, dans les tranchées, dans les passages des remblais aux déblais, et sur les points où une barrière ou un passage par-dessus forme un obstacle qui arrête l'action des vents.

« Le moyen le plus efficace qu'on emploie pour garantir les points les plus exposés consiste dans l'élargissement de la tranchée par la création d'une banquette de $2^m,50$ à $4^m,00$ de largeur, établie du côté des vents dominants; de plus, dans la construction d'un cavalier de $1^m,20$ à $1^m,50$ de hauteur et élevé à une certaine distance de la crête du talus.

« Ces deux précautions réunies suffisent pour forcer les neiges à se déposer sur les banquettes et à n'envahir que faiblement la voie proprement dite. L'élargissement de la tranchée présente encore l'avantage de faciliter le passage de la grande charrue à neige, qui, sans cette précaution, comprimerait tellement la masse, qu'elle pourrait difficilement la traverser quand les hauteurs de neige atteignent de $1^m,00$ à $1^m,20$.

« En Bavière, on se contente quelquefois, au lieu de former une banquette, de donner au talus des tranchées exposées aux neiges mouvantes une inclinaison de 5 de base pour 1 de hauteur, pour conserver aux vents la possibilité de chasser la neige, qui se dépose sans cette précaution. »

« Sur les points où il n'existe ni cavaliers ni banquettes, et où les encombrements se produisent sous l'action des vents forts et continus, on remplace les cavaliers par des clôtures en planches de $1^m,50$ à 2 mètres de hauteur, placées de 7 à 10 mètres en arrière de la crête des talus, ou par des haies vives et des plantations d'épicéas et d'autres arbustes d'une croissance rapide. Ces plantations

sont établies sur trois rangs parallèles si elles ne se font pas en massif.

« Les plantations essayées sur une vaste échelle ont rendu de très-bons services dès qu'elles avaient atteint une hauteur de 2 mètres, et les effets obtenus par ces moyens combinés ont été tellement favorables, que la circulation n'a dû être interrompue, même dans les points les plus exposés, que pendant quelques heures, et à des époques éloignées de plus d'une année.

« Sur le Fichtelberg, on s'est contenté de former des haies avec des branches de pins et de sapins dont on pouvait disposer dans la localité, en attendant que les plantations eussent acquis la hauteur nécessaire pour servir d'abri. »

L'inclinaison du talus des remblais est ordinairement de 1,5 sur 1. Elle est plus faible lorsque la nature du terrain oblige à donner de l'empatement au remblai.

Il est nécessaire aussi d'intercepter, au moyen de cavaliers ou de fossés, les eaux qui coulent à la surface, et qui pourraient endommager les grands talus. La bande de terrain nécessaire pour loger les cavaliers, les fossés, les treillages, les haies et les sentiers qui bordent les grandes tranchées doit avoir de 1m,50 à 3 mètres de largeur, suivant les circonstances. On creuse également un fossé au pied des remblais quand l'inclinaison générale du terrain amène vers leur pied les eaux pluviales.

Les figures 9 et 10 représentent les coupes adoptées comme types pour la voie sur les nouvelles lignes du réseau de l'Est.

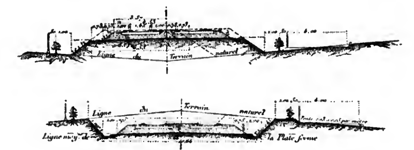


Fig. 9 et 10 — Profils en travers des chemins de l'Est.

La largeur des fossés et de la bande de terrain qui bordent les tranchées et les remblais varie comme nous l'avons indiqué.

Quelquefois, lorsqu'il se trouve de grands arbres près de la voie, il peut être utile d'acheter le terrain qu'ils occupent, afin de les abattre. Leur voisinage n'est pas sans inconvénients et même sans danger. Ils entretiennent sur la voie une humidité qui rend la traction difficile. Ils sont assez souvent mis en feu par des étincelles échappées de la locomotive. Enfin leur chute sur le chemin peut occasionner des accidents.

Les renseignements suivants, empruntés aux *Documents statistiques*, publiés par le gouvernement en 1856, indiquent exactement l'espace moyen occupé par les différentes parties des chemins de fer construits en France à la fin de 1853.

L'ensemble des terrains acquis pour l'établissement des 4,063 kilomètres livrés à l'exploitation à la fin de l'année 1853 était d'environ 13,800 hectares, représentant 0,00027 de la surface de la France, et environ 34 hectares par myriamètre de chemin.

Cette moyenne, par myriamètre, varie d'une ligne à l'autre. Elle ne descend pas au-dessous de 16 hectares, et s'élève à 43 1/2 hectares pour le chemin de fer de Frouard à Forbach.

D'après un relevé fait sur un assez grand nombre de chemins, les 34 hectares par myriamètre se décomposeraient comme suit :

		Hectares.		
1° Voie ou largeur en couronne.	Superficie. . .	9	ou	26 0/0
2° Stations, ateliers, cours, voies d'évitement.	*Id.* . .	3	—	9
3° Talus, fossés, banquettes, perrés. . .	*Id.* . .	17	—	50
4° Déviations de chemins et cours (hors clôture).	*Id.* . .	4	—	12
5° Terrains pouvant être revendus. . . .	*Id.* . .	1	—	3
Ensemble.	*Id.* . .	34	ou	100 0/0

Ainsi, de toute la superficie acquise pour l'établissement des chemins de fer, les 85 centièmes sont compris entre clôtures, dont 35 centièmes seulement occupés utilement par la ligne, la voie et les gares.

La largeur de la bande occupée est ainsi de 34 mètres en

moyenne. Celle des différents chemins de fer s'écarte plus ou moins de cette moyenne.

Ainsi elle a sur le chemin de Lyon.	34,03
De Strasbourg.	28,03
Du Nord.	33,05
D'Orléans.	42, »
D'Orléans à Bordeaux.	35,10
De Mulhouse.	35,00
Du Centre.	25,20
De Blesmes à Gray.	36,48
De Tours à Nantes.	37,30
De Frouard à Forbach.	43,60
De Creil à Saint-Quentin.	38,10
D'Amiens à Boulogne.	34,10

Nous avons présenté quelques considérations générales sur le tracé des chemins de fer, nous avons établi certaines règles pour le choix de la meilleure ligne à suivre; ce sera placer l'exemple à côté du précepte que de nous livrer à l'examen critique du tracé de quelques-uns des chemins de fer déjà exécutés.

Du tracé de quelques chemins de fer remarquables.

Les chemins de fer, au point de vue de leur tracé, peuvent se diviser en :

Chemins à pentes faibles.
Chemins à pentes moyennes.
Chemins à fortes pentes.

Nous appelons :

Chemins à pentes faibles ceux dont l'inclinaison, à quelques exceptions près, reste au-dessous de 8 à 10 millimètres;

Chemins à pentes moyennes ceux sur lesquels on rencontre, sur une partie notable du parcours, des pentes atteignant 8 à 10 millimètres;

Chemins à pentes fortes ceux dont le tracé admet, sur une certaine étendue, des rampes inclinées de plus de 10 millimètres.

Les chemins à faibles pentes, sur lesquels le transport des voyageurs s'opère à grande vitesse, sont généralement desservis dans toute leur longueur par des machines locomotives. Ce n'est que par exception que l'on a établi, dans le voisinage des stations extrêmes, des plans inclinés à machines fixes. Encore renonce-t-on depuis quelques années à ces machines pour leur substituer de puissantes locomotives.

Nous décrirons parmi ces chemins :

1 Le chemin de fer de Paris à Lille et Valenciennes (chemin du Nord).

2° Les chemins de Paris à Rouen, de Lyon à Avignon et d'Avignon à Marseille, chemins qui, avec ceux de Lyon et du Havre, constituent la grande ligne du Havre à Marseille.

3° Le chemin de Paris à Mulhouse.

4° Les chemins de Saint-Germain et de Versailles, rive droite et rive gauche, et le chemin de Paris à Auteuil.

5° Les chemins anglais de Londres à Birmingham, Middland-Counties-Railway, North-Middland-Railway, et Great-Northern-Railway, qui forment ensemble une des grandes artères qui s'étendent du sud au nord de l'Angleterre, de Londres à Newcastle. Sur toute l'étendue de cette ligne, les pentes ne dépassent jamais 4 millimètres, et le rayon des courbes est généralement de plus de 1,500 mètres.

6° Le chemin de Londres à Bristol (Great-Western-Railway), l'un des chemins de l'Angleterre le plus remarquable par son mode de construction et l'un des plus fréquentés.

7° Les chemins de Dublin à Kingstown et de Londres à Blackwall, établis pour de petits parcours aux abords de la capitale.

8° Enfin les chemins allemands du Nord, de Vienne à Gloggnitz, le chemin Badois et celui de Munich à Augsbourg.

Parmi les chemins à pentes moyennes, nous avons choisi comme les plus dignes d'étude :

1° Les chemins de Rouen au Havre, de Paris à Lyon, de Paris à Orléans, de Paris à Strasbourg et le chemin de ceinture de Paris.

2° Le chemin anglais de Londres à Brighton, qui peut être con-

sidéré comme le prolongement de la grande ligne de Newcastle ou d'Edimbourg à Londres vers la mer.

3° Le chemin de Londres à Douvres (South-Eastern-Railway), qui, avec celui de Londres à Bristol, établit, dans le sud de l'Angleterre, la communication entre la mer du Nord et l'Océan.

4° Les chemins de Liverpool à Manchester et de Manchester à Leeds, qui forment les deux chainons les plus importants de la ligne qui réunit l'Océan à la mer du Nord, aboutissant d'une part à Liverpool, et de l'autre à Hull.

5° Les chemins de Newcastle à Carlisle et de North-Shields, qui traversent, comme les précédents, l'Angleterre de l'orient à l'occident.

6° Le chemin belge de la vallée de la Vesdre entre Liége et Aix-la-Chapelle.

7° Les chemins du midi de la Suisse dits chemins de l'Ouest.

Enfin nous classerons parmi les chemins à pentes fortes :

1° Les chemins de Glocester à Birmingham, de Hetton à Sunderland, de Darlington à Stockton, et de Cromford à Peakforest en Angleterre.

2° Ceux de Saint-Étienne à Andrezieux, Saint-Étienne à Lyon et Roanne à Saint-Étienne, d'Alais à Beaucaire, en France.

3° Les chemins allemands de Vienne à Trieste, les chemins saxo-bavarois de Brunswick à Harzbourg et de Stuttgard à Ulm.

4° Les chemins du nord de la Suisse et du Jura industriel.

5° Le chemin italien de Turin à Gênes.

CHEMINS A PENTES FAIBLES.

De Paris à Lille, Valenciennes, Boulogne. (CHEMIN DU NORD.) — Les premières études du tracé du chemin du Nord remontent à une époque déjà éloignée.

Dès 1831 et dans les années qui suivirent, des plans dressés par les soins d'une société particulière furent successivement débattus au sein des conseils municipaux et des conseils généraux des départements. A cette époque, la lutte commença entre les localités dont les intérêts étaient contraires. Elle devint plus vive lorsque les en-

quêtes s'ouvrirent sur les projets de M. Vallée, ingénieur en chef, chargé, en 1834, par le gouvernement, « de chercher le moyen le meilleur de réunir entre eux les trois royaumes de France, d'Angleterre et de Belgique. » Telle était la lettre de ses instructions.

Le tracé de la ligne mère avait été étudié dans deux directions principales : l'une par Saint-Denis, Creil, Saint-Quentin, pour aboutir à Valenciennes ; l'autre par Saint-Denis, Creil, Amiens, Arras et Lille. La première ligne conduisait directement à Bruxelles, mais elle allongeait sensiblement le parcours de Paris à Londres. La seconde entraît en communication directe avec les chemins du nord de la Belgique en se prolongeant sur Roubaix et Turcoing ; elle se liait aux chemins du Midi par un embranchement entre Douai et Valenciennes, et se prêtait mieux que la ligne par Saint-Quentin à la construction d'embranchements sur Boulogne, Calais et Dunkerque. Mais ce ne furent pas là les raisons qui lui firent accorder la préférence par le gouvernement. Le ministre des travaux publics, dans le rapport qu'il présenta aux Chambres le 15 février 1838, adoptant le système défendu depuis lors par M. Teisserenc, fit valoir en faveur du tracé par Amiens le parallélisme de la ligne de Saint-Quentin et des canaux.

« Déjà la ligne par Saint-Quentin, dit le rapport, possède une série de voies navigables les plus actives, les plus perfectionnées qui existent sur la surface du royaume ; ces voies ont contribué à un développement rapide de l'industrie des contrées qu'elles traversent et à raison de la nature des marchandises qu'elles transportent et du faible prix auquel ces transports s'effectuent ; elles feraient aux chemins de fer une concurrence nuisible et peut-être ruineuse. La ligne d'Amiens, au contraire, trouve sur une partie de son développement une contrée dépourvue de communications faciles et économiques avec le centre du royaume, et qui n'attend, pour donner son essor au commerce et à son industrie que les débouchés qui lui manquent ; enfin elle rencontre un canal qui aboutit à la mer, et qui, cette fois, loin de nuire au chemin de fer, comme la ligne de Saint-Quentin, lui viendra en aide en lui permettant de s'approprier toutes les marchandises que le canal amènera dans l'intérieur du pays. »

A cette époque, on attachait encore une grande importance aux faibles pentes. « Le tracé par Amiens et Arras, dit le ministre, admet des pentes dont le maximum est de 3 1/2 millimètres; mais *cette infériorité* sur le tracé primitif par Saint-Quentin, dont les pentes n'étaient que de 3 millimètres, est peu sensible dans la pratique, et il n'est pas démontré que les études définitives ne puissent la faire disparaître. »

Les études définitives, en réalité, loin de conduire à une réduction dans le maximum des pentes, ont porté ce maximum à 5 millièmes.

Le tracé de la ligne mère une fois arrêté, les débats ont eu lieu sur celui des embranchements vers l'Angleterre. M. Vallée avait étudié deux combinaisons différentes, et donné la préférence à la construction simultanée de trois lignes, savoir : la ligne d'Amiens à Boulogne par Abbeville et Etaples; celle de Lille à Calais par Aire, Saint-Omer et Watten; et enfin celle de Watten à Dunkerque.

De 1838 à 1843, plusieurs commissions de la Chambre des députés, la Chambre elle-même, les ministres enfin qui se succédèrent au pouvoir, eurent tour à tour à exprimer leur opinion sur la combinaison proposée par M. Vallée. Partout elle rencontra une approbation pour ainsi dire unanime.

En 1843, la Compagnie avec laquelle M. le ministre des travaux publics avait traité pour l'exploitation du chemin de fer du Nord introduisait à son tour dans le débat un tracé nouveau, dû à la main habile et expérimentée d'un ingénieur anglais, M. Robert Stephenson. Dans ce tracé, le point d'intersection de l'embranchement de Calais avec le tronc principal se trouvait placé, non plus à Arras, mais à Ostricourt, petit village situé entre Lille et Douai.

Une commission de la Chambre des députés se prononça en faveur du tracé de M. Stephenson; mais ce tracé fut repoussé par la Chambre des pairs.

Citer le rapport rédigé à cette occasion par M. le comte Daru, c'est présenter le résumé des plus hautes considérations que l'on puisse faire valoir à l'appui du tracé d'un chemin de fer.

« Les bénéfices de l'exploitation du chemin d'Ostricourt, dit M. Daru, seront incontestablement plus considérables que ceux ré-

sultant de l'exploitation de tous les autres tracés. Non que cette augmentation probable de produits soit due à la présence, sur cette direction, de villes plus populeuses, plus riches, de routes plus fréquentées : les circonstances, à cet égard, sont analogues de part et d'autre; mais elle provient de ce que les inflexions de cette ligne imposent à la circulation existante un détour, un déplacement dont le revenu profite. Autrement dit, le nombre de kilomètres parcourus est plus grand pour un même nombre de voyageurs. »

Nous avons vu d'ailleurs que ce tracé économiserait au Trésor (l'État construisant le chemin) dix à douze millions.

« Voilà les avantages réels, incontestables, qu'il présente. Au point de vue financier, il n'y en a pas qui puisse lui être comparé.

« Dès lors on comprend que M. Stephenson, qui opérait pour le compte d'une Compagnie particulière, et la commission de la Chambre des députés, qui délibérait à une époque où l'industrie des chemins de fer était en souffrance, où les capitalistes se montraient timides, défiants; où la formation des associations nécessaires pour l'application de la loi du 11 juin 1842 était tout au moins fort incertaine, on comprend que M. Stephenson et la commission de la Chambre des députés se soient prononcés en faveur de la ligne d'Ostricourt.

« Reste à savoir si, abstraction faite de ces considérations particulières, le double avantage que nous venons d'indiquer (peu de frais de premier établissement et concentration du trafic) l'emporte sur le double inconvénient inhérent à l'exécution de cette ligne : l'allongement de 20 kilomètres de la distance comprise entre Paris et Londres, et l'allongement de 22 kilomètres de la distance comprise entre Lille et Dunkerque.

« La majorité de votre commission, messieurs, ne le pense pas. Le rattachement de la ligne de Calais du côté de Carvin lui paraît grever d'une manière fâcheuse et permanente des transports dont le bas prix est absolument nécessaire, ceux de la circulation partielle.

« En effet, 1° si ce tracé était adopté, Arras, chef-lieu du département du Pas-de-Calais, centre important d'expédition vers la capitale, se trouverait privé de moyens de communication avec Béthune,

Lillers, Aire, Saint-Omer, c'est-à-dire avec les principaux siéges du commerce local, qui resteraient eux-mêmes sans liaison entre eux, ou, du moins, qui auraient à parcourir, pour communiquer les uns avec les autres, des distances doubles ou triples des distances réelles qui les séparent. Or, entre ces villes, les échanges sont continus et les rapports fréquents. Les marchés qui s'y tiennent chaque semaine, ici pour les toiles, là pour les grains, ailleurs pour les huiles, attirent un grand nombre d'individus allant et venant sans cesse. Arras est le marché central vers lequel gravitent ces divers mouvements, qui se déplaceraient par suite des inflexions de la ligne projetée. Le chemin de fer de Carvin les attirerait vers Douai, ville aujourd'hui sans commerce, sans industrie, qui deviendrait avant peu le centre de toutes les opérations commerciales, car Ostricourt est une station trop insignifiante pour pouvoir être jamais autre chose qu'un lieu de passage sans importance. La circulation serait donc plus coûteuse, plus compliquée, et troublée dans son cours et dans sa pente naturelle.

« 2° La voie de Boulogne, par le littoral de la Manche, étant écartée, il convient de ne pas allonger outre mesure la route d'Angleterre, de ne pas ajouter 20 ou 25 kilomètres encore aux 55 kilomètres de longueur que la ligne d'Arras présente de plus que la ligne de Boulogne. On peut bien penser qu'une heure d'augmentation dans la durée du trajet influera peu sur l'activité des voyages de long cours; mais on ne saurait affirmer que la circulation internationale ne souffrira point d'un allongement de 80 kilomètres et de l'élévation de la dépense qui en résulterait.

« 3° Dunkerque se trouve déjà à une grande distance de Lille par le tracé d'Hazebrouck; il en est à 86 kilomètres, tandis que la ligne de fer directe aurait 75 kilomètres seulement. On a rejeté la pensée d'une ligne droite, comme trop dispendieuse et comme ne se reliant pas au réseau du Nord. En subissant cette nécessité, il faut éviter au moins de trop séparer l'une de l'autre deux villes dont la communauté d'intérêts est visible et se révèle par une circulation très-considérable. Sans parler du transport des marchandises, le mouvement seul des voyageurs de l'une ou l'autre extrémité est en effet représenté par 2 millions de kilomètres parcourus chaque

année. L'économie résultant pour les voyageurs d'une abréviation de 20 kilomètres sera donc représentée par un nombre total de 480,000 kilomètres, et, si l'on suppose que cette circulation double, hypothèse bien modérée assurément, par l'effet du chemin de fer, l'économie sera de 960,000 kilomètres, ce qui équivaut, en formant pour tarif appliqué 7 actions, à une valeur de 67,000 fr. par année, laquelle somme, capitalisée à 4 pour 100, représente 1,680,000 fr.

« Pour apprécier l'avantage financier de la combinaison d'Ostricourt, il faut tout compter : il faudrait, par conséquent, retrancher de la somme de 12 millions, provenant de la différence des devis, celle de 1,680,000 fr. qui profiterait sans doute à la Compagnie exploitante, mais au préjudice des populations traversées. On voit donc que l'épargne est moins considérable qu'on ne le suppose; elle se réduit à 8 ou 10 millions selon les tracés; que serait-ce si l'on faisait le même calcul pour la circulation de la ligne d'Arras à Dunkerque et à Calais?

« 4° Enfin la ligne d'Ostricourt satisfait moins bien que celle d'Arras aux conditions de la défense. L'une se replie, en effet, vers la capitale, s'abrite derrière les rives de l'Aa, de la Deule, de la Lys et des canaux, touche à des places importantes, etc., tandis que l'autre, au contraire, remonte vers le Nord, se rapproche de la frontière, et est par cela même plus accessible aux tentatives de l'ennemi. Elle ne permet pas, en cas d'attaque, de faire arriver aussi promptement des ordres, des troupes ou des munitions sur les points menacés.

« La majorité de votre commission pense donc que de pareils inconvénients sont de nature à contre-balancer les avantages d'une exécution plus économique et d'une exploitation plus fructueuse. »

Dans une autre partie de son rapport, M. Daru s'exprimait dans les termes suivants sur le degré d'importance qu'un gouvernement doit attacher aux économies à faire sur le capital de la construction.

« Une économie de 7,630,000 fr. est certes un argument considérable en faveur du tracé de M. Stephenson. Nous n'admettons pas que l'on soit recevable à le traiter avec dédain. Nous avons bien

entendu formuler, nous avons même lu, dans le rapport des ingénieurs, le singulier reproche que voici : « C'est là, dit-on, un « tracé de compagnie, cherchant les longs détours pour gagner « davantage, et les travaux faciles pour dépenser moins. » Et l'on ajoute d'ordinaire que le gouvernement doit être animé de préoccupations différentes, qu'il doit avoir plus de prévoyance de l'avenir, plus de soins des intérêts généraux, moins de soucis du produit net et de la dépense. Messieurs, sans discuter en ce moment les avantages ou les inconvénients des deux systèmes, nous nous permettons dès à présent de rappeler qu'aux termes de la loi du 11 juin 1842 ce n'est pas seulement la compagnie exploitante, c'est aussi et surtout le Trésor qui paye les frais de construction première. Or l'État est intéressé, tout comme les compagnies, à mesurer les travaux sur leur utilité réelle, à proportionner les sacrifices qu'il s'impose aux avantages qu'il espère. Le point de vue du gouvernement et celui de l'industrie privée ne sont pas aussi divergents qu'on le suppose et qu'on aime à le répéter. L'administration doit compter; elle ne doit pas affecter trop de mépris pour les considérations économiques et financières. Cela peut paraître mesquin, puéril, indigne d'un grand pays comme la France et de son gouvernement; mais, à notre avis, rien n'est plus sérieux, plus nécessaire et plus sage. Pour nous, la question n'est pas de savoir s'il est théoriquement vrai que les compagnies ont telle ou telle tendance, que l'administration tombe dans tel ou tel excès contraire; si ces reproches, que mutuellement on se renvoie, de préoccupations avides ou de profusions ruineuses sont plus ou moins mérités; tout cela peut trouver place dans des discussions de système, et nous n'avons pas à nous en préoccuper ici. Nous avons uniquement à voir, dans chaque cas particulier, si l'importance des travaux que l'on demande est justifiée par l'importance des besoins auxquels ces travaux s'appliquent, et cela, quel que soit le moyen d'action que l'on emploie; nous avons donc à examiner si une économie de 7,630,000 fr. est achetée trop cher au prix d'un allongement de parcours de 20 kilomètres. Toute la question est là; nous ne faisons que la poser en ce moment; plus tard nous chercherons à la résoudre. »

Ailleurs, M. Daru examine jusqu'à quel point le gouvernement doit, en déterminant le tracé des grandes lignes de chemin de fer, respecter les existences créées, les droits acquis.

« De l'examen des faits, dit-il, il résulte que, pour respecter les droits acquis, ou plutôt les existences créées, établies sous la garantie et par l'effet d'habitudes anciennes, pour éviter des perturbations toujours fâcheuses dans la situation économique du pays, il faudrait donner la préférence à la ligne d'Amiens.

« D'un autre côté, pour satisfaire un plus grand nombre d'intérêts, pour rendre plus productifs les capitaux engagés dans la spéculation, il faudrait donner la préférence à la ligne d'Arras.

« Ainsi voilà deux principes en présence, tous les deux utiles et bons à observer, et que l'on ne peut pas appliquer simultanément. Lequel doit fléchir? Lequel doit l'emporter? Telle était la question à résoudre. Votre commission, messieurs, l'a mûrement examinée. Voici le résultat de ses délibérations.

« Il n'en est pas des chemins de fer comme des moyens vulgaires de locomotion. Les routes peuvent se multiplier, se ramifier à l'infini sur la surface du territoire, aller chercher en quelque sorte tous les besoins. Les voies de fer ne le peuvent pas. Elles entraînent avec elles trop de dépenses de construction, de surveillance, d'administration, pour que, dans l'état actuel des faits connus, on puisse songer à les distribuer, nous ne disons pas avec cette profusion, mais en proportion même de tous les besoins. Bien des révolutions s'accompliront dans la science, bien des changements s'opéreront dans la situation de l'industrie, avant que le réseau voté en 1842, où les lignes les plus importantes ont pu seules trouver place, soit construit. Par conséquent, il y aura bien des souffrances, il y aura un grand trouble porté dans la situation respective des diverses localités et dans les conditions de leur richesse relative. Aussi approuvons-nous hautement la juste sollicitude avec laquelle le gouvernement et les Chambres cherchent à diminuer, autant que possible, les maux inévitables, à ménager les transitions, à éviter ces déplacements de circulation qui dépouillent les uns au profit des autres. La sagesse, la justice, l'intérêt à venir des chemins de fer, le commandent. C'est une règle en dessous de toute application aux

cas spéciaux; la commission veut avec raison généralement l'appliquer.

« Mais, lorsque l'application de cette règle a pour résultat de porter atteinte au principe fondamental de l'établissement des voies de fer, lorsqu'elle conduit à en multiplier l'emploi au delà des besoins, sans les proportionner à l'activité des relations existantes, ou à rendre ruineuses des entreprises qui auraient pu sans cela être profitables; alors mieux vaut, selon nous, produire un mal en quelque sorte individuel et local, par des mesures toujours regrettables en elles-mêmes, mais nécessaires, qu'un mal public et général, par des mesures conçues dans un faux esprit de conciliation. »

Les pentes du chemin de fer du Nord ne dépassent jamais 5 millièmes. De Paris à Soisy, dans la vallée de Montmorency, elles sont généralement de moins de 3 millièmes; à Soisy, on commence à s'élever vers Franconville, en suivant une rampe qui a environ 6 kilomètres de longueur, et dont la pente a 3 ou 4 millièmes; de Franconville, on descend à Pontoise par une pente à peu près semblable. De Pontoise à Clermont, les pentes sont ordinairement de 3 millièmes et au-dessous; de Clermont à Quincampoix, on gravit une rampe d'environ 4 millièmes, de 21 kilomètres de longueur, et de Quincampoix, on redescend vers Amiens par une pente qui varie de 2 à 4 millièmes. D'Amiens à Miraumont, les pentes ne dépassent généralement pas 3 millièmes. Un peu plus loin, on trouve une rampe de 4 à 5 millièmes sur une longueur de 8 kilomètres, puis une pente de même inclinaison sur 5 kilomètres. Les pentes varient jusqu'à Douai entre 3, 4 et 5 millièmes; mais, comme elles se succèdent sur de petites longueurs avec des inclinaisons en sens contraire, elles ne sont pas défavorables à la traction. Le profil de Douai à Templemar est à peu près semblable. De Templemar à Wattignies, on suit une rampe de 5 millièmes sur 2,500 mètres environ; puis le profil jusqu'à Turcoing offre une série de pentes et contre-pentes variant de 1 à 5 millièmes. Le profil de l'embranchement de Douai à Valenciennes présente une grande analogie avec celui de Douai à Turcoing.

Les courbes de Paris à Saint-Just ont toutes au delà de 1,000 mètres de rayon. De Saint-Just à Amiens, on trouve deux courbes de

800 mètres. Au delà d'Amiens, les courbes ont également 1,000 mètres au moins de rayon, à l'exception de celle de 524 mètres de rayon au raccordement de l'embranchement de Valenciennes, tout près de Douai; d'une autre de 500 mètres, près de la station de Lille, et d'une troisième de 620 mètres à la station de Turcoing.

Les pentes de 4 à 5 millièmes ne paraissent pas nuire à l'exploitation en ce qui concerne le transport des voyageurs; mais, lorsqu'elles s'étendent sur une certaine longueur et se trouvent sur des parties de trajet où la courbure du chemin accroît déjà la résistance, elles nécessitent quelquefois pour la traction des convois de marchandises l'emploi de machines de renfort.

On reproche au tracé du chemin du Nord le grand nombre de courbes, surtout dans certaines parties du trajet où il semble qu'on aurait pu les éviter, et la fâcheuse position de ces courbes dans des tranchées aux abords des stations.

A peine sorti de Paris, entre cette ville et la Chapelle-Saint-Denis, où sont placés les ateliers et la gare des marchandises, on trouve une partie de la ligne recourbée en S dans une tranchée où lés trains ne peuvent s'apercevoir que d'uno petite distance.

A Pontoise, les abords de la station, placée à l'extrémité d'une tranchée courbe et près d'un pont dont les remblais masquent les convois, sont considérés comme très-dangereux. Un passage à niveau dans ces conditions eût été préférable à un pont.

A Saint-Denis, la station se trouve également près d'un pont, et entre deux tranchées dont la courbure est en sens contraire.

De Clermont à Ailly, le tracé est très-tortueux et presque toujours en tranchées ou en remblais.

A Douai, les fortifications masquent les abords de la station, et on avait laissé subsister, tout auprès, des ponts tournants que la Compagnie a regardés comme tellement dangereux, qu'elle leur substitue des ponts fixes.

La station de Breteuil est placée sur une rampe de 2 millièmes et demi, qui rend souvent difficiles la manœuvre et le départ des trains de marchandises.

On reproche aussi au tracé du chemin du Nord la multiplicité des passages à niveau : on en compte 1 par 1,200 mètres; c'est en



même temps une cause d'accidents et une lourde charge pour l'exploitation.

Les travaux d'art du chemin du Nord n'offrent aucune particularité digne d'intérêt. Les travaux de terrassement ont été assez considérables. Sur certains points, ils ont présenté de grandes difficultés d'exécution, par exemple, la tranchée des Ogiers, entre Lille et la frontière belge, tranchée qui a été creusée par des procédés décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Deux stations sur le chemin du Nord méritent d'être étudiées : la station de départ à Paris et la station d'Amiens, commune aux chemins du Nord et d'Amiens à Boulogne. La charpente de la station de Paris est remarquable par sa légèreté.

On trouve, sur le chemin du Nord, quatre stations à point de rebroussement : celle d'Amiens, de Lille, de Valenciennes et de Douai. On a établi des courbes de raccordement pour éviter aux convois l'entrée dans la station.

Le chemin du Nord est l'œuvre de deux habiles ingénieurs des ponts et chaussées, MM. Oufroy de Bréville et Busche.

Chemin de Paris à Rouen. — Le chemin de Rouen est l'un des chemins projetés, il y a quelques années, dans le système des pentes les plus faibles. Les études du projet, qui a été mis à exécution, ont été faites par deux ingénieurs distingués du corps des ponts et chaussées, MM. Bellanger et Polonceau, que l'on a vus avec peine privés de la gloire de mettre à exécution cette grande œuvre qu'ils avaient si habilement préparée.

Ce chemin, qui longe sur une grande partie de son parcours les rives de la Seine, ne présente nulle part des pentes dépassant $0^m,00562$ par mètre, et le rayon des courbes n'y est pas de moins de 1,285 mètres.

Pour obtenir ce double résultat et pour diminuer le parcours, on a dû percer quelques-uns des mamelons que la rivière contourne. Aussi trouve-t-on sur le chemin de Rouen plusieurs tunnels d'une certaine longueur, parmi lesquels nous citerons celui de Rolleboise, long de 2,700 mètres, et exécuté en deux années.

Le tracé du chemin de Rouen, adopté à une époque où déjà l'on attachait moins d'importance à suivre la ligne la plus directe, passe

cependant à 6 kilomètres environ de la ville de Louviers, et à 10 kilomètres d'Elbeuf, lorsqu'on aurait pu, sans de très-grandes dépenses, s'en rapprocher davantage.

Ce tracé n'est pas le seul qui ait été étudié : en 1834, un premier projet fut soumis aux enquêtes. Le chemin, d'après ce projet, s'éloignait considérablement de la rivière. De Paris, il se dirigeait sur Saint-Denis, Pontoise, Gisors, Charleval, puis, arrivé à Blainville-sur-Ry, au lieu de se porter vers Rouen, il se prolongeait directement et presque en ligne droite jusqu'au Havre d'un côté, et jusqu'à Dieppe de l'autre. Rouen n'était alors desservi qu'au moyen d'un embranchement jeté dans la vallée de Robec, et se trouvait ainsi délaissé à 20 kilomètres, sur la gauche, au fond d'une impasse et en dehors de la grande ligne de Paris à la mer.

Ce projet fut accueilli par un cri presque général de réprobation. Non-seulement la ville de Rouen fit entendre ses plaintes comme ancienne métropole de la province, comme centre du mouvement entre le Havre et Paris ; mais le Havre lui-même et les populations du pays de Caux qui entretiennent avec Rouen des rapports continuels protestèrent contre cette espèce de divorce auquel on les condamnait, ou tout au moins contre un circuit qui devait rendre presque nul le bienfait de la vitesse.

De nouveaux projets, toujours sur la rive droite et par les plateaux, furent étudiés. De nombreuses et importantes modifications furent apportées au projet primitif. Un tracé fut proposé qui desservait la ville de Rouen, non plus au moyen d'un embranchement, mais par le chemin principal, qui touchait un des boulevards de la ville, et se prolongeait ensuite sur la vallée de Déville jusqu'à la mer ; d'un autre côté, le Havre et le pays de Caux étaient mis en communication directe avec Rouen ; enfin, pour aller au-devant de toutes les objections, pour procurer à cette dernière ville un des avantages qui l'avaient séduite dans le projet de la vallée, un embranchement détaché de Charleval et descendant par la vallée de l'Andelle venait aboutir au faubourg Saint-Sever, et offrait en même temps le précieux avantage d'établir des communications rapides avec les villes d'Elbeuf et de Louviers, ainsi qu'avec toutes les populations environnantes. Ce tracé fut sur le point d'être exécuté par

l'ancienne Compagnie, dite des Plateaux, Compagnie qui entra en liquidation avant même d'avoir commencé les travaux.

Ce tracé des plateaux desservait la vallée de Montmorency, et, tout en se prolongeant aisément d'une part sur Dieppe, et d'autre part sur le Havre, il se prêtait facilement à des embranchements sur Bruxelles, Calais et Boulogne. Il était donc, au point de vue politique, préférable au tracé sur la rive gauche. Il mariait pour ainsi dire la France avec l'Angleterre et la Belgique; mais, d'un autre côté, il négligeait les riches et nombreuses populations de la partie de la vallée de la Seine comprise entre Louviers et Paris; il ne facilitait pas les rapports avec l'ouest de la France, et n'était pas protégé par le fleuve contre les agressions de l'ennemi. Enfin, et cette dernière considération a exercé, fort à tort, selon nous, une grande influence sur le choix de l'administration, il ne venait pas se souder comme le chemin actuel au chemin de Saint-Germain, et nécessitait par conséquent la construction d'une gare spéciale dans Paris.

Les chemins de Paris à Rouen, et de Rouen au Havre, ont été construits par M. Locke, ingénieur de plusieurs grandes lignes en Angleterre. Les travaux de maçonnerie de ces deux chemins ont un caractère de hardiesse particulier aux œuvres des ingénieurs anglais; cette hardiesse dans les constructions n'a rien de dangereux; et, si l'un des plus grands viaducs du chemin du Havre s'est écroulé, cela tenait, non à ses dimensions, qui étaient suffisantes, mais au peu de soin apporté dans la confection des mortiers.

Les Anglais ont aussi introduit en France d'excellentes méthodes pour l'exécution des terrassements au waggon.

Chemin de Lyon à Avignon. — Le chemin de Lyon à Avignon orme le complément de la grande ligne de communication de Paris à Marseille, de l'Océan et de la mer du Nord à la Méditerranée. Cette ligne a toujours été considérée comme l'une des plus importantes à ouvrir sur le territoire du royaume; elle se recommande d'ailleurs sous d'autres points de vue non moins dignes d'intérêt, et doit affranchir le commerce des entraves qu'apporte et qu'apportera toujours à la remonte la navigation du Rhône; elle tend, en outre, à maintenir au travers de notre territoire le commerce de transit de la Méditerranée sur la Suisse et sur le Rhin.

Les cotons de l'Egypte et du Levant arrivent par Trieste à Zurich et en Allemagne à bien meilleur marché que par Marseille, et, sans les douanes, qui prohibent l'entrée de cette marchandise en France par la voie de terre, tous les manufacturiers de l'Alsace préféreraient la tirer de Trieste par la voie de Zurich que de Marseille.

La vallée du Rhône étant plus favorable que toute autre voie pour arriver en Alsace et en Allemagne, le contraire arrivera lorsque les chemins de fer de Marseille à Lyon et de Dijon à Mulhouse seront livrés à la circulation sur toute l'étendue du parcours.

Marseille est non-seulement le chef-lieu du Midi, mais il est encore le centre du commerce de la Méditerranée. Ses relations avec le Levant, l'Égypte, l'Amérique et les Indes, sont immenses; elle en a lié de plus récentes avec Odessa et Trieste, et sa position est naturellement le nœud entre la métropole et la belle colonie d'Alger, appelée à prendre dans un avenir prochain un grand développement.

Par une conséquence naturelle de ces faits, Marseille est l'une des artères qui répandent au sein du royaume le plus de vie. Ses douanes, plus productives que celles du Havre, en font foi.

Il est donc vrai de dire que sa prospérité est, dans toute la force du terme, une richesse nationale; la France tout entière est intéressée à ce que les sources n'en tarissent pas.

Les premières études du chemin de fer de Lyon à Avignon ont été entreprises à l'aide du fonds de 500,000 fr., voté par la loi du 27 juin 1833, et, dès l'année 1837, un projet complet, revêtu de l'approbation du conseil général des ponts et chaussées, avait pu être mis sous les yeux de la Chambre; ce projet, sauf quelques modifications que nous allons indiquer, a été adopté tel qu'il avait été arrêté à l'époque dont nous parlons.

Le tracé se raccorde à Lyon avec celui du chemin venant de Paris dans la gare de voyageurs de la presqu'île de Perrache, traverse le Rhône sur un pont à arches de fonte, tranche le faubourg de la Guillotière, et s'établit sur la rive gauche du Rhône. De ce point, il se développe dans la plaine basse de la rive gauche du fleuve jusqu'au pied du coteau de Saint-Fond; après quoi, il passe au-dessous de Feyssin, Solaize, Ternay, Chasse, Seyssuel et Estreis-

sin, et, se développant quelquefois au pied du coteau qui limite ces plaines, en longeant le Rhône au passage des rochers de Grabatton, des Roches-Piquées et des roches de Seyssuel, il s'avance jusqu'au fleuve. On arrive ainsi, après avoir traversé en coupure le petit seuil de Puissant-Dieu, à l'entrée de Vienne, sur un viaduc de 200 mètres de longueur, construit au bord du Rhône. Là, le chemin de fer franchit la route impériale de Marseille à Lyon, passe en souterrain sous le coteau de la Bâtie, sur un pont la rivière de la Gère, de nouveau en souterrain sous la ville de Vienne, et débouche derrière les casernes de cavalerie, à l'extrémité sud de la ville.

De ce point, le tracé se dirige successivement vers les plaines de l'Aiguille et du Bas-Pavé, se déroule entre la route impériale et le Rhône, puis longe le fleuve au passage des rochers de Harçon, coupe la plaine de Gerbay, se retrouve de nouveau au bord du fleuve au pied des rochers qui précèdent le village près de Condrieu, et traverse en souterrain la partie supérieure de ce village; le tracé est ensuite disposé de manière à passer au-dessous de Saint-Clair, puis dans la belle plaine basse du Péage, d'où il gagne le plateau de Saint-Rambert, en longeant immédiatement le Rhône au-devant de ce village.

Après avoir parcouru le plateau de Saint-Rambert, le tracé se développe dans la plaine basse du Creux-de-la-Tuine, laisse derrière lui Andancelle, franchit le torrent de Bancel un peu au-dessous du rocher d'Isard, coupe la plaine de l'Aveyron, traverse de nouveau la route impériale, qu'il abandonne à sa droite, et se dirige sur Saint-Vallier, où il arrive par une longue tranchée.

Alors il s'établit derrière le bourg, sous la partie supérieure duquel il passe, puis il traverse le torrent de la Galaure, après quoi il longe la route impériale, dont il contourne les sinuosités jusqu'à Ponsas. De là, il suit la base des rochers, ayant à sa droite la route et le Rhône, et arrive au village de Serves, derrière lequel il disparaît souterrainement. Après ce village, le tracé se maintient au pied des coteaux entre les villages d'Érôme et de Gervans jusqu'au commencement des rochers d'Aiguille, qui le rejettent en dehors de la route, et le forcent à passer derrière la ville de Tains. Il quitte

alors cette route pour traverser la plaine à l'extrémité de laquelle il rencontre de nouveau, près de l'auberge de la Mule blanche, la route impériale, sous laquelle il passe, et se dirige ensuite à peu près en ligne droite vers le plateau de la roche de Glun, jusqu'à la rivière de l'Isère, qu'il traverse immédiatement en aval du pont de la route impériale.

Au delà de l'Isère, le tracé se prolonge presque en ligne droite, et parallèlement à la route, vers la ville de Valence, traverse en remblai le faubourg du Nord, et en souterrain le polygone et la promenade du Cagnard, et débouche au sud de la ville jusqu'auprès de Livron, où il est établi sur de longs alignements au-dessous de la route impériale jusqu'à la Drôme, qu'il traverse à 1,160 mètres en aval du pont de ladite route. De la Drôme, le tracé se replie en se rapprochant du Rhône pour venir contourner un coteau, sillonner la plaine de Mirmande, et passer au-dessous du Logis-Neuf, de la Concourde, de Laine et de Derbières, dans l'espace resserré compris entre la route impériale et le fleuve. Il coupe ensuite en ligne droite la plaine de Montélimart, franchit la rivière torrentielle du Roubion, à environ 800 mètres en aval du pont de la route, et, après s'être développé dans la plaine, contourne le coteau de Châteauneuf, pour venir côtoyer le Rhône, au-devant des rochers de Malmouche, jusqu'à la prise d'eau du canal de Pierrelatte, où il s'établit derrière le mur intérieur de ce canal et sur un mur de soutènement de 3,000 mètres de longueur, jusqu'au robinet de Douzères.

Depuis le robinet de Douzères jusqu'à Mondragon, le tracé est établi d'abord à droite, puis à gauche de la route impériale, sur de beaux alignements, se rapprochant de Pierrelatte et de la Palud; arrivé à Mondragon, il contourne ce village en traversant deux fois la route, puis se développe le long des coteaux qui bordent la route jusqu'à Mornas et Piolenc, arrive dans Mornas en tranchée profonde au pied des grands rochers qui dominent le village, rencontre Piolenc, coupe le seuil de Beauchêne et la vallée d'Aygues, et vient desservir à l'est la ville d'Orange.

De là il se rend, par de grands alignements, vers la vallée de l'Ourèze, en coupant le faîte de Pécoulette, et la descend jusqu'à

Sorgues, en touchant les riches villages de Courthejon et de Bédarrides. De Sorgues, il gagne le hameau du Pontet, laisse la route à gauche, et, franchissant en remblai la plaine submersible d'Avignon, le long du Rhône, il contourne les remparts de cette ville à l'est et au midi, et vient enfin se rattacher à l'origine du chemin de fer d'Avignon à Marseille.

Le développement total de ce chemin, depuis sa sortie de Lyon jusqu'à Avignon, est de 231 kilomètres.

Le maximum des rampes et des pentes est de 5 millimètres, et encore n'en trouve-t-on d'aussi fortes que sur une longueur de 600 mètres, et de 4 millimètres sur une longueur de 375 mètres. Sur 186 kilomètres, la pente ne dépasse pas 3 millimètres; le reste du chemin est divisé en 84 paliers formant ensemble une longueur de 44 kilomètres.

Trois courbes, une de 500 mètres de rayon et de 800 mètres de longueur, une seconde de 520 mètres de rayon et de 600 mètres de longueur, et une troisième de 600 mètres de rayon et de 859 mètres de longueur, sont placées à l'entrée de stations principales. Deux courbes ont 650 mètres de rayon, et toutes les autres au delà de 700 mètres.

Le cube total des terrassements est de 6,600,000 mètres cubes, soit, par kilomètre, environ 29,000 mètres cubes.

On ne trouve, sur ce chemin, aucune tranchée d'une grande importance. La plus considérable ne cube que 210,000 mètres.

La ligne comprend 36 gares ou stations. La gare la plus importante est celle de la Guillotière, destinée spécialement au service des marchandises.

Les stations les plus considérables sont, en suivant leur ordre d'importance, celles d'Avignon, Valence, Vienne, Montélimart, Orange et Tain. L'exécution de ce chemin, livré depuis peu à l'exploitation sur la totalité de son parcours, fait honneur en même temps à M. Thirion, ingénieur en chef, à M. Paulin Talabot, directeur, et à MM. Parent, Shaken, Peto, Brassey et compagnie, entrepreneurs.

Chemin d'Avignon à Marseille. — Les débats, quant au choix de la direction générale de ce chemin par Tarascon et Arles, n'ont

pas été extrêmement vifs; mais, dans les détails du tracé et dans ceux de l'exécution, deux projets se trouvèrent en présence, celui de M. Kermaingant et celui de M. Talabot.

La première difficulté qu'il avait fallu résoudre, c'était, entre Avignon et Arles, de mettre le chemin à l'abri des inondations de la Durance et du Rhône.

M. Kermaingant proposait de renforcer seulement les digues existantes et d'établir au delà de ces digues le chemin au niveau du sol, comme le permettait sa conformation peu accidentée.

M. Talabot, au contraire, voulait, en laissant les digues pour ce qu'elles étaient, placer le chemin de fer en deçà, sur un remblai assez élevé pour se trouver toujours au-dessus des inondations.

Le cube de terrassement nécessaire à la formation de cette levée devait être de 1,750,000 mètres cubes, et la différence qui en résultait entre les devis des deux projets s'élevait à 2 millions de francs, somme dont une partie aurait certainement suffi à la mise en état des digues actuelles.

Mais la question de sécurité devait avoir le pas sur celle d'économie. Il parut indispensable de mettre ce chemin pour ainsi dire en état de se défendre lui-même; et, d'ailleurs, ne protégerait-il pas, comme première digue, les territoires compris dans son enceinte?

Le projet de M. Talabot fut donc adopté dès 1842, à cette légère modification près, que le niveau des rails, qu'il avait d'abord placé à une hauteur de 2 mètres au-dessus de la crue extraordinaire de 1840, fut abaissé de 50 centimètres par le conseil général des ponts et chaussées.

Quant à la section d'Arles à Marseille, serait-elle dirigée par le nord de l'Étang de Berre, c'est-à-dire par Saint-Chamas, comme le proposait M. Talabot; le serait-elle par le sud par Bouc et les Martigues, comme le voulait M. Kermaingant?

Telle était la question.

Le conseil général, puis les Chambres, la décidèrent en faveur du nord par diverses considérations, dont la plus puissante était la plus grande facilité d'un embranchement sur Aix, ville importante par elle-même, et destinée d'ailleurs à devenir un jour la tête de la ligne directe de Toulon à l'Italie.

Cependant les deux tracés, ayant atteint la chaîne de l'Estaque, se retrouvaient en conflit devant un commun obstacle, qu'à une époque moins avancée de l'art on eût considéré comme insurmontable : il s'agissait de traverser la montagne de la Nerthe, haute de 240 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les deux projets et tous ceux que suscita cette difficulté étaient d'accord qu'on ne pouvait la vaincre qu'au moyen d'un souterrain.

Mais les opinions se divisaient sur la hauteur à laquelle il serait ouvert.

M. Talabot proposait de percer la Nerthe à 53 mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui plaçait la voie à 187 mètres au-dessous du point culminant du terrain supérieur, et donnait lieu à un tunnel de 4,600 mètres de longueur. On fut d'abord effrayé des difficultés, des dépenses et de l'incertitude d'un pareil travail ; mais les autres propositions échouèrent toutes devant des objections plus graves encore.

On avait songé à élever le souterrain à 140 mètres, ce qui lui laissait encore une longueur de 1,500 mètres ; mais il n'aurait pu être atteint qu'au moyen de deux plans inclinés prolongés sur les deux versants et franchis à l'aide de machines fixes ou de machines de renfort dont l'usage eût été onéreux à l'exploitation. D'ailleurs, à cette hauteur, le tracé à travers l'Estaque eût été très-tourmenté et l'ensemble du travail eût rencontré plus d'obstacles que le souterrain entier de 4,600 mètres.

Tout en restant à la hauteur de 53 mètres, on aurait pu diminuer de 500 mètres la longueur du souterrain à l'aide d'une pente de 7 millimètres. Cette faible abréviation ne compensant pas les inconvénients d'une inclinaison plus que double de celle des autres parties du chemin, on y renonça.

Enfin, en donnant au souterrain une inclinaison de 5 millimètres on aurait pu relever de 15 mètres sa côte de sortie. Mais, outre que cette rampe, dans une si longue voie souterraine, pouvait n'être pas sans inconvénients, on n'abrégeait le trajet intérieur que de 100 mètres, et le chemin devait, dans ce système, suivre une direction qui l'allongeait de 7,700 mètres.

Le projet de M. Talabot prévalut donc sur ce point encore. Voté

en 1843, exécuté depuis sous la direction de cet ingénieur, le chemin d'Avignon à Marseille est, depuis 1847, livré à la circulation tel que nous allons le décrire.

Le départ se fait en aval de la ville d'Avignon, selon une courbe de 1,000 mètres de rayon et avec une rampe de 3 millièmes par mètre sur 1,200 mètres de longueur.

Le chemin traverse la Durance sur un grand viaduc de vingt et une arches en anse de panier de 20 mètres d'ouverture chacune. Sa longueur totale est de 533 mètres; sa hauteur de 9 mètres au-dessus de l'étiage. Après quoi, jusqu'à Tarascon, rien de remarquable, les pentes étant toujours de 2^{mm},5 au plus et les rayons des courbes de 1,000 mètres au moins.

C'est à Tarascon que se fait l'embranchement de jonction avec le chemin du Gard. A cet effet, un pont a été jeté sur le Rhône, et l'embranchement, passant à Beaucaire, va rejoindre le chemin du Gard un peu au delà de cette ville.

De Tarascon à Arles, le terrain et le tracé sont encore moins accidentés que d'Avignon à Tarascon. Les pentes n'y sont plus que de 1 millième, et, tandis que, précédemment, le remblai atteignait 9 mètres de hauteur en quelques points, comme au viaduc de la Durance, tandis qu'on y rencontrait quelques tranchées assez notables, telles que celles de la Roque, on ne trouve ici qu'un remblai continu haut de 5 mètres au plus, mais le plus souvent de 2 ou 3 mètres. Enfin on n'y compte que deux courbes de 2,000 mètres de rayon chacune.

La station d'Arles est d'une grande importance. C'est là qu'est établi l'atelier central d'entretien et de réparation de tout le matériel.

Peu après ces ateliers, le chemin traverse divers canaux et fossés sur le grand viaduc d'Arles, composé de trente et une arches en anse de panier de 21 mètres d'ouverture chacune. Ce bel ouvrage d'art présente une longueur totale de 769 mètres; mais sa hauteur maxima n'est que de 8 mètres. Au delà, le tracé présente, à la suite d'une courbe de 1,500 mètres de rayon, un alignement droit de 53 kilomètres environ. Il passe ainsi à Raphèle, à Saint-Martin-la-Crau, à Entressen, à Constantine, quelquefois en faible

tranchée, mais le plus souvent en remblai peu élevé, ou même au niveau du sol. C'est seulement entre Constantine et Saint-Chamas que, rencontrant les croupes des chaînes qui viennent mourir près de l'étang de Berre et y forment une succession continuelle de rochers et de ravins, il présente, en plan, une série de courbes, la plupart de 1,000 mètres de rayon, mais parmi lesquelles il s'en trouve une de 800 mètres dans une assez forte tranchée, et, en profil, des alternances sans cesse répétées de remblais et de tranchées, dont, au reste, le cube ne s'élève guère au-dessus de 50,000 mètres.

Quant aux pentes, elles ne dépassent pas 3 millimètres.

Après Saint-Chamas, on remarque une courbe, dite de Versailles, de 900 mètres de rayon; une autre de 1,000 mètres lui succède, et c'est dans celle-ci que se trouve compris le viaduc de Saint-Chamas. Ce viaduc est jeté sur un ravin de 385 mètres de largeur et d'une profondeur maxima de 22 mètres.

Il est formé de quarante-neuf arches en ogive de 6 mètres d'ouverture chacune, ou plutôt de vingt-quatre arches et demie en plein cintre de 12 mètres, entrelacées de telle sorte qu'une pile de l'une se trouve dans l'axe de l'autre et que la clef de la seconde forme la partie supérieure d'un évidement dans le tympan de la première.

Ce genre de construction tout à fait nouveau ne manque ni de solidité, ni d'élégance, ni d'originalité.

Alors se continue, sur les bords de l'étang de Berre, la succession des remblais et déblais à travers ravins et rochers, sur une longueur de 6 kilomètres, et, à la suite de courbes successives de 1,000 mètres et au delà, elle se poursuit jusqu'à 5 kilomètres de Saint-Chamas. Puis le chemin redevient rectiligne et se tient presque au niveau du sol, sur une longueur de 7 kilomètres, jusqu'au delà de la station de Berre. Vers ce point, à Brani, on trouve une courbe de 870 mètres de rayon, de 1,316 mètres de développement; puis une autre à Rognac, d'une longueur de 2,472 mètres, mais de 1,000 mètres de rayon.

On se dirige ensuite en ligne droite sur le Baoü, où se trouve un viaduc de 75 mètres de longueur et de 9 mètres de hauteur seule-

ment, composé de sept arches inégales dont la plus grande a 12 mètres d'ouverture.

Ici reparaissent les courbes de 1,000 mètres environ; l'importance des terrassements augmente, et une rampe de 5 millimètres sur 8 kilomètres conduit au viaduc de la Cudière, qui, d'une longueur totale de 65 mètres seulement, est formé de sept arches en ogive de 7 mètres d'ouverture chacune, construites dans le même système que celles du viaduc de Saint-Chamas.

De là enfin, par une rampe de 2 millimètres par mètre sur 1,000 mètres, on arrive à la tête nord du souterrain de la Nerthe.

La longueur de ce souterrain est de 4,620 mètres, sa hauteur sous clef est de 8 mètres. Il se trouve en rampe de 2 millimètres sur la moitié de sa longueur, en pente de 1 millimètre sur l'autre moitié. Il a été déblayé, à l'aide de vingt-quatre puits espacés moyennement de 200 mètres, et dont le plus grand a 180 mètres de profondeur.

Les difficultés de ce percement et son prix de revient par mètre ont été à peu près les mêmes que pour le souterrain de Blaizy sur la ligne de Paris à Lyon; nous renvoyons donc pour plus de détails à la description de ce dernier chemin.

A la sortie de la Nerthe le tracé présente, en plan, plusieurs courbes consécutives de 1,000 mètres de rayon et une de 850, et, sur le profil, une suite de ravins, dont le plus grand a 17 mètres de profondeur, et que l'on franchit au moyen : 1° de deux viaducs, l'un de cinq arches ogivales ordinaires de 8 mètres, l'autre de sept arches en plein cintre aussi de 8 mètres d'ouverture; 2° d'un remblai avec mur de soutènement de 90 mètres de long, indépendamment des remblais ordinaires.

On arrive ainsi à la station de l'Estaque, d'où l'on sort par une courbe de 1,000 mètres, puis, dans le cours d'un alignement droit de 5 kilomètres, on passe à Séon, où l'on trouve un petit souterrain de 460 mètres seulement, et l'on continue jusqu'à Saint-Joseph. On parvient ensuite à Saint-Barthélemy par une courbe de 2,000 mètres de rayon, et enfin à Marseille par une dernière de 1,000 mètres.

Dans ce trajet de 11 kilomètres entre la Nerthe et Marseille, mais surtout jusqu'au petit souterrain dont nous avons parlé, le remblai succède continuellement au déblai, et *vice versa*, donnant lieu ainsi à des terrassements plus multipliés et irréguliers que considérables.

Quant aux pentes et rampes, elles y sont toutes de 1 millimètre, à l'exception de celle d'arrivée à Marseille, qui est de 2 millimètres 1/2.

En résumé, le chemin d'Avignon à Marseille a cela de particulier que, sur un parcours total de 120 kilomètres, dont près de la moitié à travers un pays de montagnes, il ne présente aucune pente supérieure à 3 millimètres, et n'a nécessité que fort peu de courbes de moins de 1,000 mètres de rayon.

Chemin de fer de Mulhouse. — Le chemin de Mulhouse, soudé au chemin de Strasbourg à Noisy-le-Sec (9 kilomètres de Paris), traverse la Marne à une grande hauteur tout près de Nogent ; il monte ensuite sur les plateaux de la Brie, qu'il traverse sur 50 kilomètres de longueur, en desservant la ville de Nangis, se confond à Flamboin avec le chemin de Montereau à Troyes. De Troyes à Chaumont, il suit la vallée de la Barse, traverse le faîte séparatif des vallées de la Seine et de l'Aube, en passant par Vandœuvre, et arrive à Chaumont, où se trouve un tronc commun aux deux lignes de Mulhouse et de Blesmes à Gray. La première ligne quitte la seconde à Chalindrey, à 11 kilomètres de Langres, franchit les vallées de la Marne et de la Saône, dessert Vesoul, traverse le faîte séparatif des vallées de la Saône et de l'Ognon, dessert Lure et Belfort, franchit au delà de ce point le grand faîte séparatif des cours d'eau du bassin de la Méditerranée et de celui de l'Océan ; puis enfin aboutit à Mulhouse, après avoir suivi les vallées de la Savoureuse et de l'Ill.

La pente maxima du chemin de Mulhouse ne dépasse pas 6 millièmes, et le rayon des courbes, si ce n'est dans les stations, ne descend pas au-dessous de 800 mètres.

Les travaux ont une grande importance. Le cube des terrassements est de 14 millions de mètres cubes, soit 38,000 mètres cubes par kilomètre.

Une partie assez considérable des tranchées sont dans l'argile ou dans des terrains de roche fort dure.

Parmi ces tranchées, on distingue celles de Maurevert, Chalmaison, Chamarande, Jessains, etc.

Comme souterrain, nous citerons ceux de Culmont, long de 1,320 mètres, Torcenay, Grattery, Genevreuille et la Challière.

Ce dernier est un des plus importants : il a 1,100 mètres de longueur.

On trouve sur le chemin de Mulhouse le plus bel ouvrage d'art qui ait été exécuté en France sur un chemin de fer, le grand pont de Nogent-sur-Marne et les viaducs aux abords. Nous décrirons plus loin cet ouvrage remarquable, dont les projets ont été rédigés par MM. Vuigner, ingénieur en chef; Collet Meygret, ingénieur principal, et Pluyette, ingénieur ordinaire, et qui a été exécuté, sous la direction immédiate de M. Pluyette, par M. Duplaquet, chef du service des entrepreneurs MM. Parent et Shacken. Outre ces viaducs, on en rencontre quelques autres qui ne sont pas moins dignes d'intérêt. Tels le viaduc de la Voulzie, près Provins; celui de Chaumont, et le viaduc de la Largue, entre Belfort et Mulhouse. Les fondations du viaduc de la Voulzie, s'enfonçant de 15 mètres dans la tourbe, ont présenté d'immenses difficultés qui ont été surmontées, avec autant de talent que de bonheur, par M. l'ingénieur Siben, sous la direction de MM. Vuigner et Collet Meygret. Ce viaduc est remarquable aussi par la légèreté de ses arches et par l'économie apportée dans chacun des détails de la construction. Le viaduc de Chaumont, long de 600 mètres et haut de 50 mètres au maximum, cube près de 60,000 mètres. Ce magnifique travail, qui fait le plus grand honneur à M. l'ingénieur en chef Zeiller, et à M. l'ingénieur ordinaire Decomble, a été construit en moins d'une année. Le mérite de l'exécution est partagé par les ingénieurs avec le chef de service de l'entrepreneur M. Gourdin.

Le viaduc de la Largue, moins important que les précédents, est entièrement en briques, et réunit une grande solidité à une grande élégance. Ce n'est que justice de nommer l'ingénieur ordinaire, M. Daigremont; l'ingénieur principal, M. Fleur-Saint-Denis, et l'ingénieur en chef, M. Vuigner.

Nous publierons, dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*, les plans, coupes et élévation de ces différents viaducs, et décrirons l'organisation des chantiers établis pour la construction du pont de Nogent et du viaduc de Chaumont.

La plupart des stations du chemin de Mulhouse sont remarquables par leur bonne disposition et par leur élégance. Elles sont l'œuvre de M. Bellanger, architecte de la compagnie.

Chemin de Paris à Saint-Germain et de Paris à Auteuil. — Le chemin de fer de Saint-Germain, construit par MM. Lamé, Clapeyron et Stéphane Mony, à une époque où les machines locomotives étaient loin d'avoir atteint leur état de perfection actuel, a été établi à grands frais avec des pentes qui ne dépassent pas 1 millimètre, et des courbes dont le rayon ne descend pas au-dessous de 2,000 mètres.

Les courbes étant de niveau tandis que les alignements ont 1 millimètre de pente, les ingénieurs avaient calculé que l'effort de traction nécessaire pour gravir les pentes en ligne droite était égal à celui qu'exigeait le parcours des courbes de 2,000 mètres de rayon et de niveau, en sorte que l'effort des locomotives serait le même sur des rampes ou dans les parties de niveau.

On aurait évité de grandes dépenses de construction sans augmenter sensiblement les frais d'exploitation en admettant des pentes plus fortes et en réduisant le rayon des courbes.

Le chemin de fer de Saint-Germain devait, dans l'origine, s'étendre jusqu'à la Madeleine. On a sagement renoncé à ce projet, et la gare d'arrivée s'est trouvée définitivement placée rue Saint-Lazare, où elle dessert en même temps les chemins de Versailles (rive droite), d'Auteuil, de Rouen et de l'Ouest.

En revanche, le railway, qui, pendant longtemps, s'est arrêté au Pecq, au bas de la colline de Saint-Germain, a été prolongé jusqu'à l'entrée de la forêt au moyen d'un plan incliné que l'on remonte à l'aide du système atmosphérique.

Les travaux de ce plan incliné ont été étudiés et conduits avec une rare habileté par M. Eugène Flachat, ingénieur civil, l'un des auteurs du projet primitif du chemin de Saint-Germain. Nous aurons l'occasion de les décrire plus loin, en traitant de ce nouveau système de locomotion.

Tout récemment enfin, la Compagnie de Saint-Germain a construit un embranchement de 4,200 mètres de longueur entre Asnières et Argenteuil, et, le 2 mai 1854, elle a inauguré le chemin d'Auteuil[1]. Par les conditions spéciales de son établissement et de son exploitation, avec une circulation qui atteignait déjà 8,000 personnes par jour pendant le mois de mai dernier, et qui s'élevait au chiffre énorme de 20,150 voyageurs le premier dimanche de sa mise en exploitation, cette dernière ligne offre, sans contredit, le plus curieux exemple de chemin de banlieue qu'il soit possible de rencontrer. Les renseignements suivants, que nous devons à l'obligeance de MM. les ingénieurs de Saint-Germain, feront bien comprendre les sujétions imposées à cet embranchement et les procédés élégants adoptés pour son exécution.

L'embranchement sur Auteuil se détache du chemin de fer de Saint-Germain, à la sortie du souterrain des Batignolles, à 1,100 mètres environ de l'origine du chemin de fer. Son tracé est compris, comme celui du chemin de fer de ceinture, entre le mur d'octroi et l'enceinte fortifiée; il traverse la plaine de Courcelles, à peu près à égale distance de ces deux murs; il suit cette direction dans le village des Thernes, en appuyant un peu sur la droite, et arrive au pied des fortifications, à l'avenue de Neuilly (route n° 13); au delà de cette avenue, il prend un peu sur la route militaire, qu'il suit régulièrement jusqu'à l'avenue Dauphine.

Le tracé s'éloigne alors des fortifications pour éviter le parc de la Muette; il traverse l'avenue de Saint-Cloud (route départementale n° 46), au point où la rue de la Tour vient y déboucher, passe derrière la grande Muette, et arrive sur le quinconce de Passy après avoir traversé la petite Muette. Il suit, au delà, la ligne des maisons qui bordent le quinconce, et vient retrouver la route stratégique, qu'il laisse à sa droite, pour entrer dans le parc de Montmorency, à l'extrémité duquel se trouve la station d'Auteuil sur la route départementale n° 29, de Paris à Boulogne.

Une condition expresse de la concession a été de passer sous

[1] La description de ce chemin, construit par M. Eugène Flachat, est extraite des *Annales des ponts et chaussées* (mai et juin 1854).

toutes les routes que rencontre le tracé; le profil, pour satisfaire à cette condition et avoir le moins de déblais possible, a dû être accidenté. En quittant la ligne de Saint-Germain, il descend par une pente de $0^m,005$, et passe à Batignolles sous les rues d'Orléans, Cardinet, de la Gare, de la Santé, sous la route départementale n° 33, de Paris à Asnières; puis il traverse en palier sous les rues de Courcelles, Lombard, de la Chaumière et de l'Arcade; il passe sous la rue de Villiers avec une pente de $0^m,003$, et remonte ensuite par une pente de $0^m,009$, jusqu'au delà de la route impériale n° 12 (vieille route de Neuilly), et, après avoir coupé les terrains non bâtis de Ferdinanville, entre sous la route impériale n° 13 (avenue de Neuilly), dans un souterrain de 140 mètres de longueur, sur lequel est ouverte aussi l'avenue de Saint-Denis (route départementale n° 9). Après une rampe de $0^m,001$ jusqu'à l'avenue Dauphine, on reprend une rampe de $0^m,0088$ sous l'avenue de Saint-Cloud, et on arrive à Passy par un palier, sous la chaussée de la Muette (route départementale n° 2). On se retrouve alors, pour la première fois, hors du sol, sur le quinconce de Passy, que l'on suit par un remblai de 1 mètre au maximum, toujours en palier. A l'extrémité du quinconce, commence une pente de $0^m,004$ pour descendre sur Auteuil; les déblais recommencent jusqu'à l'extrémité du parc, et on arrive à la station d'Auteuil, sur le chemin de Boulogne (route départementale n° 29), par un remblai de $4^m,50$ de hauteur.

Tous ces passages en dessous ont été faits sur le même type, quelleque soit la largeur que le décret ait imposée aux différents passages.

Dans les passages trop biais pour faire des poutres d'une seule portée, parce que l'épaisseur du tablier ne permettait pas d'augmenter la hauteur des poutres, on a dû mettre dans l'entre-voie des colonnes en fonte qui ont divisé la poutre en deux. Dans ce cas, l'espace entre les culées a été porté de 7 mètres à $7^m,60$, pour laisser le rail toujours à la même distance des supports. Toutes les dimensions des fontes ont été calculées pour ne pas travailler à un effort de plus de 3 kilogrammes par millimètre carré de section.

Le tracé passe ainsi sous quinze voies de communication. Les

onze premières, qui sont des voies communales, sauf la route d'Asnières, ont de 8 à 9 mètres de largeur; la route d'Asnières en a 12. L'avenue des Thernes a 35 mètres de largeur; l'avenue de Neuilly, 144; l'avenue Dauphine, 185; l'avenue de Saint-Cloud, 56, et l'avenue de la Muette, 120.

Un point assez intéressant a été le passage du chemin de fer sous une maison à deux étages, située sur le quinconce de Passy. Cette maison était construite sur la masse à enlever. On a posé des chevalements qui permettaient le passage de la tranchée nécessaire pour la construction des murs de soutènement; les murs construits, on a posé des poutres en tôle au lieu de poutres en fonte, avec des sommiers et des voûtes en briques; enfin, sur ces poutres, on a placé d'autres poutres en tôle sous les murs de la maison; malgré le peu de solidité de la construction de cette dernière, le travail s'est fait sans mouvement apparent dans les plâtres.

La disposition des stations a été faite sur un même type Sauf celle d'Auteuil, elles sont toutes placées au-dessus du chemin de fer et forment une continuation des souterrains, dont la longueur imposée à la Compagnie était beaucoup plus que suffisante pour le passage des routes. Elles se composent d'une salle d'attente avec un bureau de distribution, et d'un grand corridor conduisant aux escaliers qui mènent aux quais.

Les quais ont une hauteur de 1 mètre, et sont recouverts par une toiture métallique portée sur des colonnes et sur les murs.

Les colonnes sont placées sur le quai, à 2 mètres des bords; elles portent des chéneaux qui forment entablement; sur ces chéneaux viennent s'ajuster, du côté de la voie, un arc en tôle ondulée, qui va d'un quai à l'autre, et, du côté du mur, une petite ferme en fonte qui supporte une vitrine. Dans la tôle ondulée, les jours sont pris par des arcs en fer à vitres, qui s'assemblent aux tôles.

Dans deux stations, cette disposition a été simplifiée, et les chéneaux portent directement sur les murs; l'arc en tôle ondulée couvre alors toute la station.

L'embranchement d'Auteuil, sur ses 8 kilomètres de parcours, dessert six stations à la rencontre des principales voies de communication.

L'exploitation du chemin de fer d'Auteuil a nécessité la création d'un matériel supplémentaire de celui de la Compagnie de Paris à Saint-Germain.

Pour satisfaire à l'exigence d'un parcours rapide, malgré l'extrême rapprochement des stations, les locomotives devaient pouvoir démarrer et s'arrêter beaucoup plus vite qu'on ne le fait sur les grandes lignes. Les dispositions arrêtées par M. Charles Rhoné, ancien élève de l'École centrale, atteignent parfaitement le but proposé, et méritent au plus haut degré de fixer l'attention des ingénieurs et des constructeurs. Nous les décrirons au chapitre des locomotives.

Chemin de Dublin à Kingstown [1]. — Le point de départ du chemin de fer de Dublin à Kingstown est situé dans l'intérieur même de la ville de Dublin, à 20 pieds au-dessus du sol, dans une rue appelée *Westland-Row*.

Ce chemin traverse les rues étroites sur des ponts élégants d'une seule arche et les rues les plus larges sur des ponts composés de trois arches; une petite au-dessus de chaque trottoir et une grande au-dessus de la chaussée.

L'espace d'une rue à l'autre est occupé par des remblais de sable, gravier, etc., compris entre de grands murs en pierre calcaire provenant des carrières de Donybrook.

La largeur du railway, du point de départ à Westland-Row jusqu'au quai de Dublin, est de 18 mètres entre les parapets, et est calculée pour permettre la pose de quatre voies.

De ces quatre voies, les deux du milieu sont destinées aux voyageurs allant dans un sens ou dans l'autre, et les deux voies extrêmes sont consacrées au transport des marchandises.

Cette disposition permet d'opérer le chargement et le déchargement des marchandises avec la plus grande facilité, sans gêner en aucune manière le service des voyageurs.

Arrivé au quai des docks, on trouve le chemin de fer établi sur un magnifique pont bâti en granit à trois arches, posées en partie sur ce quai, et en partie dans le dock même.

[1] Extrait du *Journal de l'industriel et du capitaliste*.

Une des arches couvre une nouvelle rue qui occupe une partie de la largeur du quai qu'on laisse subsister; sous la troisième passent les bateaux naviguant le long des murs des docks.

Au delà des docks, la largeur du chemin de fer diminue, et les quatre voies se réduisent à deux, dont l'écartement toutefois est encore de $2^m,50$ environ, ce qui est considérable.

Les remblais s'abaissent; on rencontre encore plusieurs ponts servant à passer au-dessus des routes, puis un pont sur la rivière Dodder, et enfin le chemin de fer se trouve au niveau du sol. C'est dans cet endroit, où le chemin rencontre la surface du sol, que l'on a établi les ateliers de construction et de réparation des machines.

De ce point jusqu'aux rivages de la mer, le chemin de fer, établi en plaine, est bordé par de larges fossés, dont le but n'est pas seulement de donner écoulement aux eaux qui pourraient le dégrader, mais encore de le protéger contre les irruptions du bétail. Il traverse plusieurs routes de niveau, entre des barrières confiées aux soins de gardes spéciaux.

A Old-Merrion, le spectacle change : au moment du flux, on découvre tout à coup une immense jetée baignée par les eaux de la mer. C'est le chemin lui-même, qui, construit sur cette jetée, plonge pour ainsi dire dans la mer, et sur lequel on voit par moment apparaître subitement et disparaître avec la rapidité de l'éclair des machines locomotives qui semblent glisser à la surface de l'eau.

Si l'on est frappé d'admiration devant ce magnifique travail, on éprouve aussi un sentiment de satisfaction en voyant la mer déposer tranquillement des amas de sable qui protégent le talus contre l'action des vagues, à laquelle on prétendait qu'il ne pourrait pas résister.

Aux basses eaux, la jetée, percée d'arches nombreuses donnant passage à l'eau qui alimente plusieurs établissements de bains, n'est plus qu'un simple viaduc établi sur le rivage.

Le railway n'a pas seul trouvé place sur cette digue colossale. Une promenade délicieuse, pendant les soirées d'été, a été ménagée parallèlement au chemin de fer.

A Booters-Town, on a établi une jetée perpendiculaire à celle que nous venons de décrire, pour communiquer avec la côte, et on a

de cette manière rendu à l'agriculture une étendue de terrain qui n'a pas moins de 50 acres.

A Black-Rock, où se termine la grande jetée, la Compagnie du chemin de fer elle-même a fait construire un superbe établissement de bains.

De Black-Rock à Kingstown, le chemin de fer est établi sur une chaussée à mi-côte, remarquable par la hauteur des murs qui la protégent contre les éboulements du côté de la terre ; puis il traverse la délicieuse propriété de lord Cloncurry, pénètre sous terre par une galerie suivie d'une tranchée profonde de 12 mètres, et enfin arrive à Kingstow, après avoir sauté de rocher en rocher.

A Kingstown, il traverse l'ancien port de Dunleary, dont une partie a été comblée.

Il passe ensuite entre la tour de Martello et la batterie opposée à Crofton-Terrace, dans une profonde tranchée.

De la batterie aux dépôts de l'amirauté, le chemin côtoie le port au travers de chantiers où se rencontrent les bois du Canada et ceux de la Norvége.

Le chemin passe enfin derrière les dépôts de l'amirauté et se termine par une gare vis-à-vis la cour des commissaires (Commissionners' yeard).

De Dunleary jusqu'à ce point extrême, le chemin de fer marche parrallèlement à une route dont il est séparé par une grille de fer.

Le chemin de Dublin à Kingstown a été établi, comme une partie des chemins de fer de construction ancienne, sur des dés qui ont $0^m,60$ de côté, éloignés de $0^m,90$ d'axe en axe, suivant la longueur du chemin.

Ces dés sont en granit, et, de $4^m,60$ en $4^m,60$, c'est-à-dire aux extrémités de chaque rail, on a placé un dé qui traverse la voie, de manière à relier les bandes de fer placées de l'un et de l'autre côté du chemin.

Nous ne connaissons pas la longueur exacte de ce chemin ; elle doit être d'environ 10 à 12 kilomètres seulement.

Chemin de Londres à Birmingham. — Georges Stephenson venait de terminer le chemin de Liverpool à Manchester, lorsque son fils Robert entreprit celui de Londres à Birmingham.

Ce chemin est un des plus importants de l'Angleterre, puisque c'est la grande route de Londres vers le Nord ; c'est aussi un des chemins établis avec le plus de soin.

Construit à une époque où les machines locomotives en usage étaient faibles comparativement à celles que l'on emploie aujourd'hui, et où d'ailleurs on sacrifiait assez volontiers la question financière à la question d'art, le chemin de Londres à Birmingham a été établi à grands frais dans le système des plus faibles pentes.

Il est vrai que, à la sortie de Londres, les voyageurs sont obligés de remonter une rampe dont l'inclinaison, variant de 1 1/2 centième à 7 millièmes, est, en moyenne, de 1 centième ; mais, du sommet de cette rampe jusqu'à Birmingham, les pentes ne dépassent pas 5 millimètres par mètre, et le rayon des courbes ne descend que dans un seul cas, par exception, à 540 mètres.

Le plan incliné à la sortie de Londres a été longtemps desservi par deux puissantes machines fixes. Si l'on se servait alors de machines fixes, ce n'était pas que l'on considérât la rampe comme impraticable pour les locomotives, mais le mode d'exploitation par locomotives paraissait peu avantageux, parce que, le plan incliné se trouvant à la sortie de la station, les locomotives n'avaient pas le temps d'acquérir une vitesse suffisante au moment où elles atteignaient le pied de la rampe, et qu'ainsi la vitesse avec laquelle elles pouvaient remonter les convois était généralement plus faible que celle que produisaient les machines fixes. D'ailleurs, comme les locomotives ne peuvent développer leur force qu'en vertu de l'adhérence de leurs roues motrices sur les rails, on craignait que, comme les brouillards de la Tamise rendent les rails constamment humides, deux locomotives, telles qu'on les construisait alors, ne fussent insuffisantes pour remorquer un convoi de huit voitures.

Aujourd'hui que l'on emploie des locomotives plus puissantes, on a entièrement renoncé au service des machines fixes.

Les travaux de terrassement exécutés pour l'établissement du chemin de Londres à Birmingham sont immenses.

Parmi plusieurs tranchées considérables ouvertes sur cette ligne, on distingue la tranchée du Tring, qui a 4,000 mètres environ de

longueur, et 17 mètres de profondeur sur près de 400 mètres. Le cube des terres extraites de cette immense tranchée n'est pas moindre de 1,100,000 mètres. Une partie de ces terres, déposées en cavaliers sur les bords de l'excavation, a été élevée à la surface par des procédés que nous décrirons plus loin.

La tranchée de Blisworth, la plus importante du chemin de Londres à Birmingham après celle de Tring, cube 700,000 mètres. On a rencontré, dans l'exécution de ce travail, de grandes difficultés; la partie supérieure, composée de roc dur, a été enlevée à la poudre. Sous ce rocher, se trouvait une couche d'argile coulante; on n'a pu soutenir les talus dans cette argile qu'au moyen de murs très-dispendieux réunis dans le bas par un radier.

Dans d'autres tranchées, il s'est manifesté des éboulements que l'on a eu grand'peine à contenir.

Le volume de certains remblais du chemin de Londres à Birmingham, sans atteindre celui des tranchées, n'en est pas moins considérable. Le remblai de Wolverton, cubant environ 400,000 mètres, élevé sur un terrain marécageux, n'a cessé de s'affaiser que, lorsqu'en élargissant sa base on est parvenu à en diminuer suffisamment la pression sur le sol.

Le viaduc de Wolverton, composé de six arches surbaissées en briques, a 200 mètres de longueur.

A Birmingham et sur plusieurs points de la ligne, on trouve d'autres viaducs en briques également importants.

Middland-Counties-Railway. — Le Middland-Counties-Railway, réunissant le chemin de Londres à Birmingham au Nord-Middland, se détache du premier à la station de Rugby et se soude au North-Middland à Derby. Il passe à Nottingham et Leicester. C'est en 1836 que la Compagnie concessionnaire a obtenu l'autorisation de le construire. Il a été ouvert dans toute sa longueur en mai 1840.

Les plus fortes pentes y sont de 3 millièmes. Les courbes y sont toutes de grand rayon.

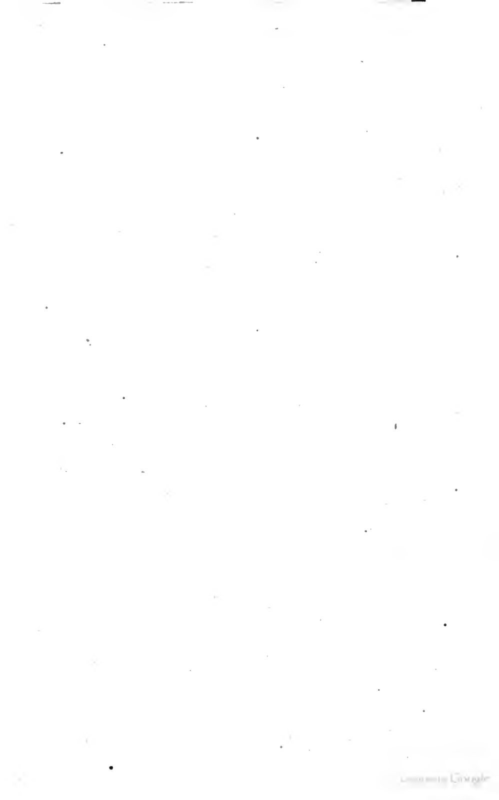
Le cube moyen des terrassements, sur ce chemin, est de 43,600 mètres cubes par kilomètre.

Le nombre des ponts en dessus ou en dessous est de 148. Les

Pl 12



Gare du Chemin de fer de l'Est – Paris





Gare des Chemins de fer du Nord, à Bruxelles

Pag 185

Vol 3.44

souterrains sont au nombre de trois, dont la longueur totale n'est que de 285 mètres.

Greath-North-Railway. — Ce chemin, long de 75^k,625, a été concédé en 1836, avec un grand nombre d'autres. Il s'étend de York à Newcastle et se relie au North-Middland par un embranchement. On n'y trouve pas de pentes dépassant 2 1/2 millimètres. Son tracé est presque entièrement en ligne droite.

Le cube des terrassements n'est que de 15,290 mètres cubes par kilomètre; le nombre des ponts en dessus ou en dessous est de 42.

North-Middland-Railway. — Le North-Middland-Railway, ainsi qu'on peut le voir sur la carte, constitue, avec le Middland-Counties-Railway et une grande partie du chemin de Londres à Birmingham, une des grandes lignes qui s'étendent du sud au nord de l'Angleterre, de Londres à Newcastle; sa longueur est de 117 kilomètres.

Toutes les courbes, sur ce chemin, ont 1,600 mètres au moins de rayon, et les pentes n'y dépassent pas 4 millimètres. Si donc on se reporte à la description que nous avons donnée du tracé du chemin de Londres à Birmingham et du Middland-Counties-Railway, on remarquera que, nulle part, sur le chemin de Londres à Newcastle, par Rugby, exception faite d'une très-petite partie du parcours, les pentes ne dépassent 4 millièmes et que le rayon des courbes excède généralement 1,500 mètres. Il en est de même sur le grand chemin transversal de Douvres à Bristol, tandis que les lignes de Liverpool à Hull et de Newcastle à Carlisle ont été tracées, au contraire, avec des pentes d'environ 1 centième et des courbes de moindre rayon.

Les travaux de terrassement du North-Middland-Railway, s'élevant à 62,000 mètres cubes par kilomètre, sont considérables.

Les plus importants sont la tranchée de Vakeeshan, dont le cube est de 460,000 mètres, et celle de Normanthon, cubant 382,000 mètres. Les souterrains sont au nombre de sept, longs de 3,500 mètres; le plus considérable a 536 mètres.

On trouve sur le North-Middland-Counties-Railway cent trente-trois ponts ou viaducs, parmi lesquels on distingue le grand viaduc

de Calder composé d'une arche de 27 mètres d'ouverture, et de cinq autres de 18 mètres.

Le North-Middland-Railway est le plus remarquable de l'Angleterre, avec le Great-Western ou le chemin de Bristol, pour le luxe des stations.

La grande station de Derby, où se croisent trois chemins de fer, et dans laquelle on a concentré le service des voyageurs, des marchandises et des ateliers, est une des plus intéressantes à étudier. Elle a été décrite dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Les autres stations ont été construites dans un style d'architecture élégant et varié.

Chemin de Londres à Bristol. — Le chemin de Londres à Bristol, désigné en Angleterre par le nom de Grand-Occident (Great-Western-Railway), n'est pas seulement l'un des plus importants de la Grande-Bretagne comme l'une des lignes les plus commerciales de ce pays, il est encore, au point de vue technique, l'un des plus dignes d'étude.

Tout, sur ce chemin construit par Brunel fils, porte un cachet d'originalité. Le tracé en est remarquable ; la voie, le matériel, les stations, présentent des dispositions qui fixent l'attention des ingénieurs.

La pensée qui a présidé au choix du tracé est la même que celle qui a guidé dans l'étude du chemin de Londres à Birmingham, construit vers la même époque. On n'a épargné ni soins ni dépenses pour réduire autant que possible l'inclinaison des rampes et pour agrandir le rayon des courbes.

De Londres à l'embranchement d'Oxford, partie de la ligne la plus fréquentée, les pentes, sur une grande longueur, n'excèdent pas 7 dixièmes de millimètre. Puis, jusqu'au plateau le plus élevé, à Swindon, le chemin continue à s'élever graduellement, sans aucune ondulation, avec une inclinaison de 11 dixièmes de millimètre. De ce point culminant, enfin, le chemin redescend vers Bristol.

Sur cette partie de la ligne, la configuration du terrain a nécessité des pentes supérieures à celles qui précèdent; mais l'ingénieur les a concentrées sur un espace comparativement court en adoptant

des rampes opposées inclinées chacune de 9 millièmes 1/2, l'une ayant 1,200 mètres de longueur, l'autre 4,000 mètres. Les pentes intermédiaires ne dépassent nulle part 2^{mm},9. C'est sur la dernière rampe de 9 millièmes 1/2 que se trouve le souterrain de Box, qui est le seul passage difficile de toute la ligne.

Le rayon des courbes est plus grand que sur tout autre chemin de fer, puisqu'il est généralement de 6,400 à 11,000 mètres.

Parmi les travaux remarquables exécutés sur le chemin de Bristol, il faut nommer le pont sur la Tamise, à Maidenhead; c'est le travail le plus hardi qui ait été exécuté en petits matériaux.

Il se compose de deux grandes arches elliptiques ayant chacune 28 mètres 90 centimètres d'ouverture, c'est-à-dire 60 centimètres seulement de moins que le nouveau pont de Londres, construit en granit et l'un des plus beaux ponts en pierre que l'on connaisse.

La largeur de la voie, sur le chemin de Londres à Bristol, est presque le double de celle de la plupart des grandes lignes d'Angleterre (7 pieds au lieu de 4 pieds 8 pouces). M. Brunel, en élargissant ainsi la voie, s'est proposé principalement de faciliter l'emploi de machines de plus grandes dimensions, capables de traîner de plus lourdes charges à de plus grandes vitesses. Nous verrons plus loin jusqu'à quel point cette modification est heureuse.

Ce n'est pas seulement par les dimensions que la voie du chemin de Bristol diffère des autres chemins de fer, elle offre aussi un mode de construction qui lui est particulier.

Sur la plupart des autres chemins, les rails sont en fer plein, et ils sont fixés par des pièces en fonte nommées coussinets et des traversines en bois qui servent de fondation à la voie; sur le chemin de Bristol, les rails sont, au contraire, en fer creux, cloués à des solives en bois qui en deviennent pour ainsi dire parties intégrantes, et ces rails en bois et fer sont fixés sans intermédiaire aux traversines qui reposent sur la chaussée. Le chemin ainsi construit est plus élastique, et, par suite, le mouvement des machines et des voitures y est plus doux.

Dans l'origine, une partie des traverses étaient fixées au sol au moyen de pieux faisant office de pilotis; mais on a, depuis lors,

supprimé ces pieux, entre lesquels la voie, fléchissant outre mesure, finissait par se courber.

Les machines locomotives et les voitures du chemin de Bristol, aussi bien que la voie, ne sont pas seulement intéressantes par leurs dimensions exceptionnelles, elles présentent des dispositions particulières. Nous nous réservons d'en parler dans le second volume de cet ouvrage.

Plusieurs des stations, celle de Windsor, par exemple, ont cela de remarquable que, par suite d'une combinaison des voies que nous décrirons plus loin, le départ et l'arrivée ont lieu du même côté, tandis que sur les autres chemins, ainsi que chacun le sait, on part d'un côté et on arrive de l'autre.

Le chemin de Bristol a coûté excessivement cher, puisque le prix du kilomètre s'élève à 886,000 fr.; mais les produits se sont heureusement trouvés en rapport avec la dépense.

Chemins de Versailles.—Des deux chemins de Paris à Versailles, celui de la rive gauche, plus particulièrement, offre une preuve frappante de la nécessité de ne pas sacrifier dans l'étude des chemins de fer toute considération financière aux considérations techniques.

Tout le monde conviendra aujourd'hui qu'aucun des deux tracés admis pour ces deux chemins n'était le meilleur.

On avait proposé un troisième tracé bien préférable. Ce tracé, partant de l'extrémité du Cours-la-Reine, passait sous la montagne de Chaillot par un souterrain de 940 mètres, traversait la plaine de Passy et le bois de Boulogne, franchissait la Seine sur un pont à $13^{m},28^{c}$ au-dessus de l'étiage, puis se développait sur les coteaux de la rive gauche, passait derrière les villages de Suresnes et de Puteaux, entrait dans le parc de Saint-Cloud et suivait jusqu'à Versailles une direction à peu près semblable à celle que suit celui de la rive droite.

Les résultats de l'enquête avaient été favorables à ce projet, mais il a été rejeté par l'administration des ponts et chaussées à cause de la grandeur des pentes, qui étaient, sur une partie du parcours, de 8 millimètres 1/2.

Cette pente était cependant parfaitement admissible, même en

supposant l'emploi de machines médiocrement puissantes, pour ce chemin, sur lequel les convois de voyageurs ne marchent avec charge complète que les jours de fête, et, comme nous l'avons déjà fait observer, elle n'était nullement dangereuse. Elle est plus faible que la pente adoptée sur le tronc commun aux chemins de Londres à Douvres et de Londres à Brighton. Ce chemin central n'eût pas coûté plus cher que chacun des chemins de Versailles (rive droite et rive gauche), il eût été plus court, son point d'arrivée dans Paris eût été infiniment mieux placé. Il eût desservi Saint-Cloud et une partie des villages auxquels aboutissent les chemins actuels, enfin il eût donné lieu à une excellente spéculation, tandis que les chemins actuels ont été peu avantageux à leurs actionnaires. Mais revenons au chemin de Versailles (rive gauche).

Ce chemin devait partir, dès l'origine, d'un point situé dans l'intérieur de Paris, soit rue d'Assas, soit au carrefour de la Croix-Rouge, soit à la place Saint-Sulpice ; mais la Compagnie adjudicataire, effrayée du surcroît des dépenses, crut devoir s'arrêter provisoirement au dehors de la barrière, sur la chaussée du Maine.

De ce point, le chemin s'élève, par une rampe uniforme de 4 millimètres, jusqu'aux portes de Versailles, et il entre dans cette ville par une rampe de 935 mètres de longueur et de 1 centimètre d'inclinaison. On a été obligé, pour maintenir l'inclinaison de 4 millimètres prescrite par les cahiers des charges, d'exécuter des travaux immenses de terrassement, et d'élever un grand viaduc sur un mauvais sol. On eût évité une partie de ces travaux et économisé plusieurs millions en augmentant cette rampe ; mais l'administration s'est montrée d'une rigueur extrême à l'égard de la Compagnie en lui refusant un accroissement de 1 dixième de millimètre seulement !!!... Puis, lorsque, plus tard, les travaux ont été suspendus par défaut de capitaux, elle a passé d'une sévérité exagérée à une indulgence excessive, en accordant à la Compagnie, non-seulement l'établissement d'une rampe de 1 centième à l'entrée de Versailles, ce qui était sans inconvénient, mais encore en autorisant la substitution de passages de niveau à des ponts, sur certains points où ces passages, placés à l'extrémité de courbes en tranchée, sont fort dangereux, et en permettant l'ouverture d'un chemin inachevé,

et, par suite, très-imparfait. Les travaux de terrassement sur cette ligne ont été considérables, puisque le cube moyen des terrassements par kilomètre s'est élevé à 72,000 mètres, atteignant ainsi le chiffre des terrassements sur le chemin de Bristol.

Le principal travail d'art du chemin de Versailles (rive gauche) est le grand viaduc du Val-Fleury, étudié par M. Payen, inspecteur général des ponts et chaussées. Nous donnerons plus loin la description de ce viaduc.

On remarque aussi sur ce chemin les moyens employés pour consolider les talus de plusieurs tranchées ouvertes dans le sable glaiseux et ceux des remblais voisins.

Le chemin de fer de Versailles (rive gauche), devenu l'une des têtes du chemin de l'Ouest, a été prolongé jusqu'au boulevard Montparnasse.

Chemin de fer du Nord en Autriche. — Ce chemin, dont les études remontent à 1830, a été concédé en 1836 à la maison Rotschild. Commençant au Prater, à Vienne, il franchit le Danube au moyen de deux ponts sur palées en bois. Le tracé a présenté peu de difficultés, si ce n'est sur l'embranchement de Brünn, où il a fallu mettre la voie à l'abri des inondations et franchir quelques vallées transversales sur des viaducs d'une grande longueur. Ses pentes sont très-favorables et ne dépassent pas $5^{mm},5$ par mètre, même au passage de la ligne de faîte qui sépare le bassin du Danube de celui de l'Oder ; mais on y rencontre des courbes de 570 mètres de rayon.

Chemin de fer de Vienne à Gloggnitz. — Le chemin de Vienne à Gloggnitz fut concédé à M. le baron de Sina en 1836, à peu près à la même époque que le chemin du Nord à M. le baron de Rotschild. Il fait partie de la grande ligne de Vienne à Trieste, qui servira d'intermédiaire pour toutes les relations de l'Allemagne avec la Méditerranée.

Sur une longueur de $18^{k},40$, qui représente à peu près le quart du parcours total, les pentes de ce chemin atteignent de $6^{mm},6$ à $7^{mm},7$; le rayon minimum des courbes est de 1,600 mètres.

Les ouvrages les plus remarquables du chemin de Gloggnitz sont le viaduc de Baden, de trente arches; un pont en bois dans le système américain, d'une portée de $37^{m},95$, et le passage du cours

d'eau qui alimente le moulin de Perchtolsdorf au moyen d'un siphon en fonte.

Il faut aussi indiquer comme méritant une attention particulière les différentes gares de ce chemin, notamment celle de Vienne, décrite dans le *Portefeuille de l'Ingénieur* sous le nom de *Gare du chemin de fer de Vienne à Raab*.

Chemin de Munich à Augsbourg — Ce chemin, établi à une seule voie, comme le précédent, avec terrassements et ouvrages d'art pour deux voies, ne présente dans son tracé aucune particularité digne d'être citée. Les pentes sont très-faibles, les courbes de grand rayon; les rails, du modèle anglais, ne pèsent que $19^{\text{kilog.}},8$ par mètre courant.

Il n'y a de remarquable sur ce chemin que les travaux exécutés pour la traversée des marais aux abords de Hattenhofer. Renonçant à assurer la résistance du terrain dans ces marais, soit par le battage d'une forêt de pieux d'une longueur de 12 à 15 mètres, ce qui eût considérablement augmenté la dépense, soit par l'emploi de fascines d'un prix également élevé et laissant craindre, pour le moment où elles viendraient à pourrir, des tassements considérables, le directeur des travaux fit au préalable assainir autant que possible, par des fossés d'écoulement, les parties de marais traversées; puis on pratiqua en échiquier, et avec espacement de $0^{m},876$ des trous carrés de $1^{m},168$ de profondeur, ayant au bas $0^{m},582$ de côté, au haut $0^{m},876$. Ces trous furent remplis de terre grasse imperméable à l'eau.

La disposition inclinée des faces des trous ayant pour effet de comprimer la terre tourbeuse du marais, on put effectuer sur cette masse rendue homogène des remblais avec un tel succès, que, depuis la mise en exploitation du chemin, aucun tassement n'a eu lieu.

Chemin badois. — Nous empruntons à M. le Chatelier la description de ce chemin.

Long de 279 kilomètres, il sillonne le grand-duché de Bade dans toute sa longueur, depuis Manheim jusqu'à Lorrach, à la frontière de Suisse, près de la ville de Bâle, court du sud au nord au pied des montagnes de la forêt-Noire, et atteint tous les centres de popula-

tion de quelque importance situés à leur base. Arrivé à Heidelberg, il se rejette, par un rebroussement de l'est à l'ouest, vers Manheim, parallèlement au cours du Neckar. Un embranchement de 13^k,5 le relie à la tête du pont de Kehl; un second embranchement, partant de la station d'Oos, atteint Baden-Baden depuis le commencement du mois d'août 1845. Ce chemin de fer fait concurrence au chemin de Strasbourg à Bâle pour le transit des voyageurs entre l'Allemagne et la Suisse. On s'occupe de le faire arriver jusqu'aux portes de la ville de Bâle, et même de le prolonger jusqu'à Schaffouse. Il est exécuté et exploité par l'État, en vertu d'une loi en date du 29 mars 1838; les travaux ont été commencés le 1er septembre de la même année, et les diverses sections ont été livrées à la circulation, de Manheim à Heidelberg, le 11 septembre 1840; d'Heidelberg à Carlsruhe, le 15 avril 1843; de Carlsruhe à Offenburg et Kehl, le 1er juin 1844; d'Offenburg à Freyburg, en août 1845, sur une longueur totale de 220^k,5.

Les travaux d'art et les terrassements ont été exécutés pour deux voies; mais jusqu'ici on n'en a posé qu'une seule. C'est en 1845 seulement que les Chambres ont voté les crédits nécessaires pour la pose de la seconde voie.

Le tracé présentait, comme pour le chemin d'Alsace, les plus grandes facilités; cependant on l'a tourmenté sur plusieurs points pour atteindre, conformément au programme dressé par les Chambres, toutes les villes voisines de sa direction. Néanmoins il est de niveau sur 38 centièmes, et il ne présente de pentes supérieures à 4 millimètres par mètre (de 4 à 5^{mm},3) que sur 6 centièmes de sa longueur totale. Pour obéir servilement aux conditions du programme et par une raison d'économie mal entendue, sur un terrain aussi peu accidenté, on a fait descendre au-dessous de 400 mètres et jusqu'à 180 mètres le rayon de quelques courbes. Bien que ces courbes de petit rayon soient pour la plupart voisines des stations où tous les trains s'arrêtent, elles exercent une influence d'autant plus fâcheuse sur l'exploitation, qu'on a fait choix du matériel anglais sans l'approprier à un pareil service. Ce chemin est le seul en Allemagne, parmi les grandes lignes, pour lequel on ait adopté une largeur de voie supérieure à 1^m,435; mais on n'est entré que timi-

dement dans ce système d'innovation en restreignant l'écartement à 1m,60. Par suite, sans pouvoir jouir de tous les avantages que les partisans des larges voies leur attribuent, on s'est fermé toute communication directe avec les chemins des pays voisins.

Depuis la publication de l'ouvrage de M. le Chatelier, la seconde voie du chemin badois a été posée, le chemin s'est approché de la ville de Bâle, et la voie a été rétrécie. La construction d'un pont sur le Rhin à Kehl aura lieu prochainement et mettra ce chemin en relation avec les chemins français.

CHEMINS A PENTES MOYENNES.

Parmi les chemins de fer qui se rangent dans cette classe, il en est un grand nombre sur lesquels les transports s'opèrent à grande vitesse; ceux-là, à l'exception des chemins anglais de Newcastle à Carlisle, et de Liverpool à Manchester, ont été tous étudiés en dehors des idées exclusives qui ont présidé au tracé des lignes de Londres à Birmingham, de Paris à Rouen, de Paris à Saint-Germain, etc. Nous commencerons par la description de celui de Rouen au Havre, l'un des plus curieux par les ouvrages importants que son établissement a nécessités.

Chemin de Rouen au Havre. — Le chemin de fer de Rouen au Havre s'embranche sur celui de Paris à Rouen, à Sotteville, près Rouen, et arrive, par une rampe de 5 millimètres sur 1,100 mètres, à un pont en charpente formé de huit arches de 40 mètres d'ouverture chacune, au moyen duquel il traverse la Seine à 12 mètres audessus de l'étiage. Il ne tarde pas à s'engager dans le tunnel de Bonsecours, qui, percé dans la montagne Sainte-Catherine, a 1,055 mètres de longueur et 6 mètres de hauteur sous clef. Ce tunnel présente une faible pente de 1mm,4 par mètre. Il se trouve, en partie, dans une courbe de 750 mètres de rayon et de 880 mètres de développement. A cette courbe en succède une autre de 925 mètres de rayon, puis, après un remblai et une tranchée assez considérables, on arrive ainsi à un second tunnel de 1,300 mètres de longueur, droit d'abord, puis en courbe de 1,600 mètres de rayon. Il présente, sur toute sa longueur, une rampe de 5mm,35. Le chemin passe

par ce tunnel sous les boulevards Saint Hilaire et Beauvoisine, puis après un court déblai, nécessité par la station de la rue Verte, il entre, avec la même rampe, dans un nouveau tunnel de 1,184 mètres, situé sous les cimetières Saint-Maur et Saint-Gervais. Il est bon de remarquer qu'en amont et en aval de la station la rampe est de 6mm,55 sur 300 mètres environ, afin d'en racheter une de 0,002 seulement en guise de palier au droit de la rue Verte. Au sortir du tunnel de Saint-Gervais, on se trouve en tranchée, puis en remblai, ce dernier ayant jusqu'à 18 mètres de hauteur, et l'on arrive ainsi à un quatrième tunnel, qui n'a que 360 mètres de longueur, mai qui est percé en courbe de 800 mètres de rayon et fait partie d'une rampe de 3mm,3, qui s'étend, au reste, sur une longueur totale de 3,420 mètres. Ici se termine la traversée de Rouen, qui est la partie du chemin où s'étaient accumulées les difficultés les plus sérieuses et qui a occasionné la plus grande dépense.

Après quoi, jusqu'à Malaunay, le tracé ne présente que des courbes de grand rayon, mais assez multipliées, et des rampes faibles, mais presque sans interruption. Néanmoins il s'en trouve une de 5 millimètres sur 1,280 mètres, à Houppeville.

Dans ce trajet d'environ 7 kilomètres, quoique le terrain ne soit pas très-accidenté, on trouve un remblai de 250,000 mètres cubes et d'une hauteur de 28 mètres. Ce travail est le plus grand terrassement que l'on rencontre jusque-là, tous ceux qui précèdent ayant environ 100,000 mètres cubes. La vallée de Malaunay, dont le sol est de 25 mètres au-dessous des rails, est traversée par un remblai et deux viaducs. Le remblai a 400 mètres de long et 25 mètres de hauteur; son volume est de 624,000 mètres cubes. Les deux viaducs ont, l'un quatre arches, l'autre huit de 15 mètres d'ouverture; ils sont séparés par le grand remblai; le premier est précédé, et le second est suivi d'une tranchée de 250,000 mètres cubes, de sorte qu'à elles deux elles ont pu suffire au remblayement de la vallée; ces tranchées sont l'une et l'autre en courbe de 800 mètres de rayon sur un développement, l'une de 200 mètres, l'autre de 300. A la suite de cette dernière se trouve un tunnel de 2,200 mètres; la rampe y est de 5 millimètres et s'étend au delà jusqu'à un développement total de 3,240 mètres; puis les rampes deviennent plus fai-

bles, et, à part un remblai de 25 mètres, mais d'un cube total de 240,000 mètres seulement, on arrive sans difficultés à Barentin.

Là se trouve un viaduc en briques, comme tous ceux de la ligne, de vingt-sept arches de 15 mètres d'ouverture chacune, de 32 mètres de hauteur, et d'une longueur totale de 500 mètres; la rampe n'y est plus que de $1^{mm},6$, et on a eu soin de ménager en amont un palier de 580 mètres. On sait que, construit une première fois avec des matériaux peu convenables, il s'écroula entièrement, causant ainsi un grand dommage et un long retard à la Compagnie.

On ne manqua pas d'attribuer cet accident à la hardiesse peu commune des proportions de ce monument. Cependant, reconstruit sur les mêmes plans, mais avec plus de précautions, il a résisté à toutes les épreuves et ne laisse pas plus à désirer sous le rapport de la solidité que sous celui du grandiose.

A l'issue du viaduc, la rampe s'élève à $5^{mm},5$. Le tracé décrit en outre, sur 1,200 mètres environ, une courbe de 940 mètres de rayon; puis une de 800 mètres dans une tranchée de 20 mètres de hauteur. Au reste, le terrain, étant ici très-accidenté, a nécessité un certain nombre de courbes successives et une alternance continuelle de remblais et de déblais de 100,000 mètres cubes environ, le tout dans le cours d'une rampe de 5 millimètres sur un développement presque continu de 11,000 mètres. En outre, il existe une courbe de 700 mètres de rayon à Mesnil-Panneville, et une de 838 mètres aux abords de la station de Motteville, à la suite de laquelle se trouve un grand palier de 4,000 mètres. De Motteville à Bolbec, le chemin est presque toujours au niveau du sol; les courbes y sont rares et de grand rayon. Les rampes se soutiennent jusqu'à Yvetot, mais elles sont très-faibles. De ce point, on redescend par des pentes variées, dont la plus forte est de $5^{mm},3$ sur 5,580 mètres; mais la plupart ne dépassent guère 1 millième.

De Bolbec à Mirreville reparaissent les tranchées et remblais successifs de 100,000 mètres cubes environ, les courbes de 1,000 à 1,200 mètres se multiplient, et la pente s'élève à $3^{mm},3$ sur 4,400 mètres de longueur. Le viaduc de Mirreville est compris dans cette pente. Il y a une partie courbe de 1,000 mètres de rayon sur 340 mètres de développement. Sa longueur totale est de 530 mè-

tres, sa hauteur de 32 mètres; il a quarante-huit arches de 9m,20 d'ouverture chacune; à la suite se trouve un palier; puis recommencent les courbes de rayon plus grandes que 1,000 mètres, les terrassements peu importants, mais très-multipliés, les faibles pentes moindres de 3mm,5. Mais tout à coup celles-ci s'élèvent à 8 millièmes d'abord sur 3,300 mètres jusqu'à Epretot, puis sur 8 kilomètres d'Epretot à Harfleur, où le chemin avance toujours par une succession de remblais et de tranchées dont la dernière est de 140,000 mètres cubes. Là, en amont, en guise de palier, se trouve une rampe de 1mm,5 sur 180 mètres seulement, et de nouveau une pente de 8 millièmes dont fait partie le premier viaduc d'Harfleur, qui n'offre rien de remarquable et est composé de cinq arches de 9 mètres d'ouverture et de 16 de hauteur et d'une longueur totale de 60 mètres. Il est uni, par un remblai de 180,000 mètres cubes, en courbe de 1,600 à 2,400 mètres de rayon, à un autre viaduc parfaitement identique au premier, sauf que le second est en palier, ainsi qu'une grande partie du remblai.

On rencontre ensuite, à la naissance d'une pente de 300 mètres de longueur, une tranchée de 180 mètres de long et d'une hauteur maxima de 18 mètres, en courbe de 1,200 mètres de rayon; enfin le chemin, après un parcours total de 93 kilomètres, arrive au Havre au niveau du sol, en palier sur 1,200 mètres, et selon un alignement droit de 2,200 mètres.

Chemin de Paris à Lyon. — La construction du chemin du Havre décidée, l'importance de l'établissement d'un chemin de fer de Paris à Lyon, et, dans l'avenir, de l'Océan à la Méditerranée, fut unanimement reconnue.

Déjà l'Océan se trouvant uni à la capitale par le chemin de Rouen au Havre, il ne s'agissait plus que de diriger un railway sur Marseille pour compléter la ligne du Havre à la Méditerranée.

Avant l'achèvement de cette grande entreprise, on pouvait en retirer déjà des avantages précieux. La navigation à vapeur n'avait-elle pas atteint sur le Rhône et sur la Saône jusqu'à Châlons, un dégré de célérité très-satisfaisant même à la remonte? Une fois donc Paris en communication avec Châlons par un chemin de fer, les relations avec la Méditerranée acquerraient aussitôt une merveilleuse

activité. C'est pourquoi l'on entreprit d'abord les sections de Paris à Châlons et d'Avignon à Marseille.

L'importance des relations entre les points extrêmes semblait devoir conduire à adopter jusqu'à Châlons le tracé le plus direct. Mais il y eut des personnes qui virent dans le chemin du Sud-Est autre chose que le but déjà si vaste que nous venons d'indiquer. A leurs yeux, il devait, en outre, unir Paris ainsi que la Méditerranée au Rhin par un embranchement sur Mulhouse. Or cet embranchement pouvait-il mieux se faire qu'à Dijon, depuis longtemps en communication avec Mulhouse par une route impériale sur laquelle existe déjà une circulation des plus actives? En envisageant ainsi la question, Dijon devenait un point obligé du chemin de Lyon, et, nonobstant le détour considérable qui en devait résulter, ce fut cet avis qui prévalut.

Ce programme ainsi arrêté, on étudia plusieurs projets pour en mettre à exécution la première partie.

La plus grande difficulté qui se présenta pour la section de Paris à Dijon consistait dans l'obligation de franchir le faîte des monts vosgiens, qui séparent le bassin de la Seine de celui de la Saône.

On étudia ce faîte, et l'on y reconnut d'abord trois dépressions principales, dont on se proposa de profiter pour passer de l'un des bassins dans l'autre. Or, pour parvenir à chacun de ces points de plus facile accès, il se trouva qu'il fallait suivre chacune des trois principales vallées qui forment le bassin de la Seine; de là, naquirent trois tracés : celui de la Seine, celui de l'Aube, et celui de l'Yonne.

Le premier avait son point culminant près des sources de la Seine, au col de Poiseul, dont la hauteur, 472 mètres au-dessus du niveau de la mer, pouvait être réduite à 393 mètres, au moyen d'un souterrain de 2,700 mètres de longueur.

Le second eût franchi le faîte vers les sources de l'Aube, au col de Vivey, non loin de Chalmessin. La côte, à ce point, est de 426 mètres, mais elle pouvait se réduire à 383 mètres, au moyen d'un souterrain de 1,330 mètres.

Enfin, le troisième passage était praticable à travers la crête de Pouilly, située près des sources de l'Armançon, affluent de l'Yonne;

à ce point, la continuité de la chaine est interrompue par une déchirure profonde au fond de laquelle roule la rivière de l'Ouche. Déjà les ingénieurs avaient tiré parti de cet accident de terrain en plaçant à Pouilly le point de partage du canal de Bourgogne. Sa côte n'est qu'à 411 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il n'exigeait, pour le passage du chemin de fer, qu'une tranchée de 1,800 mètres de longueur sur 18 mètres de hauteur maxima.

Le tracé de la Seine et celui de l'Aube avaient une partie commune; l'un et l'autre empruntaient dans son entier la ligne de Corbeil, tout en se réservant une gare spéciale; l'un et l'autre restaient constamment sur la rive droite de la Seine jusqu'à Romilly, traversant successivement l'Yonne et le Loing, touchant Melun, Montereau, Bray, Pont-sur-Seine et Nogent, et évitant les percées souterraines et les courbes roides, malgré les sinuosités de la Seine et les coteaux abrupts qui la bordent entre Corbeil et Melun. A Romilly, les deux tracés se séparaient : le premier passait à Troyes, à Bar-sur-Seine, à Châtillon, puis arrivait par la vallée du Revinçon au souterrain de Poiseul, au delà duquel, par divers vallons intermédiaires, il gagnait la vallée du Suzon, d'où il se dirigeait en ligne droite sur Dijon. Le second passait à Arcis-sur-Aube, Borey, Brienne-le-Château (où l'on projetait un embranchement sur Strasbourg), Bar-sur-Aube, Clairvaux, puis arrivait au souterrain de Vivey, en suivant le cours sinueux de l'Aube : du côté opposé de ce tunnel, il descendait dans la vallée de la Tille, franchissait cette rivière sur un grand viaduc de 550 mètres de long sur 26 de haut avec une pente de 5 millimètres et à force de terrassements. Enfin, après un assez long parcours en plaine, il se raccordait de nouveau avec le tracé de la Seine à 300 mètres de Dijon.

La seconde partie du tracé de la Seine lui était commune avec un quatrième tracé que nous n'avons pas encore mentionné, et qui se désignait sous le nom de tracé de la Brie et de la Haute-Seine. Partant de Paris par la barrière des Vertus, ce tracé aurait suivi le canal de l'Ourq, puis la Marne jusqu'à Chalifert, où il l'eût quittée par un souterrain de 1,000 mètres. Il se fût engagé dans le vallon sinueux et étroit de l'Aubetin, eût été obligé de se mettre de nouveau en souterrain sur une longueur de 2,700 mètres pour rentrer

dans la vallée de la Seine, et, sans avoir touché aucune ville importante, il eût rejoint à Romilly le tracé de la Seine.

Enfin le tracé de l'Yonne, quittant celui de la Seine à Montereau, longeait d'abord l'Yonne jusqu'à la Roche, puis le canal de Bourgogne, puis l'Armançon jusqu'à Tonnerre, et par le souterrain de Lesiers arrivait à Aisy; ici il fallait opter entre la vallée de la Brenne, que suit le canal, et celle de l'Armançon. Les coteaux de la première étaient formés d'un terrain glaiseux; on redouta l'exemple d'Ablon, et l'on préféra adopter la seconde, malgré ses roches granitiques et les difficultés qui en pouvaient résulter. Le tracé passait ainsi à Semur, et arrivait enfin au col de Pouilly. Au sortir de la grande tranchée par laquelle on devait le traverser, on s'engageait dans la vallée de l'Ouche, et, décrivant une grande courbe perpendiculairement à la direction voulue, on tournait le mont Affrique, et l'on arrivait ainsi à Dijon. La vallée de l'Ouche est fort étroite et assez sinueuse, elle contient déjà le canal de Bourgogne et la rivière de l'Ouche; on comprend qu'il eût été difficile d'y loger aussi le chemin de fer dans des conditions d'art bien favorables, surtout sous le rapport des courbes. C'était là une grave objection pour le tracé de l'Yonne; mais l'absence de souterrain parut une considération plus puissante.

Le tracé de la Brie fut écarté à cause des travaux et des pentes qu'il nécessitait pour franchir inutilement le faîte de la Marne à la Seine, du peu d'importance commerciale des pays qu'il traversait et de la mauvaise position de son entrée à Paris, par rapport aux marchandises du Midi, et notamment aux vins, etc., etc.

Le tracé de l'Aube, projeté dans la pensée de donner un tronc commun aux lignes de l'Est et du Sud-Est, fut rejeté à cause de sa rop grande déviation de la direction naturelle et du déplacement de circulation qui en serait résulté; à cause de sa mauvaise position stratégique, à cause enfin de son peu d'aptitude à recevoir des embranchements.

Le tracé de la Seine le céda enfin à celui de l'Yonne, par suite de la comparaison des circulations probables, l'avantage étant du côté de la Bourgogne, sur la Champagne, surtout dans l'hypothèse de la prochaine concurrence, dans ce dernier pays, du chemin de

Strasbourg, et aussi à cause du moindre faite à franchir et du moindre détournement de la circulation naturelle. Le parallélisme de la voie de fer et du canal de Bourgogne ne fut pas considéré comme une objection sérieuse. Le tracé de l'Yonne fut donc adopté par la commission, puis par la Chambre, en exprimant toutefois les vœux suivants :

1° Que des études fussent faites pour modifier le tracé entre Pont-d'Ouche et Dijon. — Ce qui ne tendait à rien moins qu'au percement dans le mont Affrique d'un souterrain de 5,000 mètres précédé et suivi de pentes de 10 millièmes.

2° Que le chemin de Lyon eût une entrée spéciale dans Paris.

3° Qu'il y eût embranchement de Montereau à Troyes.

On verra par la description du tracé actuel que l'entrée spéciale a été réalisée, ainsi que l'embranchement de Troyes; quant à la vallée de l'Ouche, on a sans doute reconnu, depuis, et les graves inconvénients que présenterait son parcours long et difficile, et l'inutilité qu'il y aurait, si l'on s'était décidé à percer le mont Affrique, d'avoir auparavant ouvert une tranchée longue et élevée, et même encore remonté la vallée difficile de l'Armançon au milieu des roches granitiques qui avoisinent Semur. C'est pourquoi, renonçant à cette dernière ville, on a quitté, à Montbard, l'Armançon et le canal de Bourgogne, et, remontant la vallée de l'Oze, on a substitué au col de Pouilly celui de Blaisy, où l'on a percé un tunnel de 4,100 mètres.

Le tracé actuel est donc tel qu'il suit : le point de départ dans Paris est situé sur le boulevard Mazas, à l'extrémité de la rue de Lyon, qui a été ouverte, par la ville de Paris, pour mettre cette gare en communication directe avec la Bastille.

Le chemin traverse les faubourgs de Paris où sont situés ses ateliers de réparation, il sort de Paris sur la rive droite de la Seine, parallèlement à ce fleuve, dont il se trouve jusqu'à Villeneuve-Saint-Georges et au delà à peu près à la même distance que le chemin d'Orléans sur la rive gauche.

Aussi, les deux rives étant jusque-là peu dissemblables, ne trouve-t-on, dans cette première partie, comme au chemin d'Orléans, que de faibles pentes, des courbes de grand rayon, peu de

terrassements, point de travaux d'art remarquables, si ce n'est à Charenton, sur les deux bras de la Marne, un double pont avec arches en fonte.

A partir de Villeneuve-Saint-Georges, on s'élève par une rampe variée de 4 à 5 millimètres par mètre, et de 11,600 mètres de longueur sur les collines qui forment la vallée de l'Yères. On traverse deux fois cette vallée avant et après Brunoy, sur deux viaducs, dont l'un a neuf arches de 9^{m},67 d'ouverture, et l'autre vingt-huit de 10 mètres d'ouverture, la hauteur maxima est de 22 mètres, la longueur du premier viaduc est de 119 mètres, et celle du second de 375 mètres. On redescend ensuite par une pente variant aussi de 4 à 5 millimètres, mais sur 3,600 mètres seulement, jusqu'à peu de distance de Melun.

Un peu en aval de cette ville, au Mée, on traverse la Seine sur un grand pont en fonte, composé de trois arches de 40 mètres d'ouverture chacune, et dont la hauteur, au-dessus de l'étiage, est de 22 mètres. Puis se renouvelle la rampe variée de 4 à 5 millimètres sur une longueur de 6,600 mètres jusqu'après Fontainebleau, rampe interrompue toutefois par un palier de 100 mètres pour la station de cette ville.

De Fontainebleau à Montereau, le pays est assez accidenté. A Avon, à Saint-Mamès, à la Grande-Paroisse, se trouvent des rampes et des pentes alternatives de 4 à 5 millimètres sur 3,000 à 4,000 mètres. Les deux premières localités ont, en outre, exigé deux viaducs pour la traversée de Blangy et Lomy. Tous deux ont trente arches de 10 mètres d'ouverture et d'une hauteur maxima de 20 mètres; mais le second possède, en outre, deux arches biaises en fonte de 40 mètres d'ouverture pour le passage simultané de la rivière et du canal du Loing.

Quant aux courbes, elles sont toutes de grand rayon; on n'en compte que quatre de 1,000 mètres, dont trois auprès de Saint-Mamès.

A Montereau, le railway, qui, depuis Melun, suit la rive gauche de la Seine, prend celle de l'Yonne et se trouve ainsi jusqu'à Sens en pays plat et presque en ligne droite. Il a donc nécessité peu de terrassements, si ce n'est à Pont-sur-Yonne, où se trouve une tran-

chée de 2,000 mètres de long et qui a jusqu'à 20 mètres de profondeur. Elle est précédée d'une rampe et suivie d'une pente de 4 millimètres sur 1,500 mètres environ, qui sont les plus fortes que l'on rencontre dans cette partie.

De Sens à Joigny, le railway, se trouvant presque continuellement au niveau du sol ou en faible remblai, n'a rien de remarquable; seulement le tracé, continuant de remonter l'Yonne, est forcé, comme cette rivière, de faire un grand nombre de circonvolutions. Mais les rayons de ces courbes sont tous très-grands; ceux de 1,000 ou 1,200 mètres forment exception. Après Joigny, le tracé passe l'Yonne à la Roche et suit à peu près parallèlement le canal de Bourgogne, se trouvant sans cesse compris entre ce canal et l'Armançon. Il passe ensuite cette rivière et la côtoie, sauf les détours jusqu'à Tonnerre, où il arrive par une rampe de 4 millimètres sur 13,000 mètres; après quoi le profil devient plus accidenté. A la suite de quelques rampes faibles, s'en trouve une de 5 millimètres sur 2,800 mètres. Elle conduit aux deux souterrains successifs de Lezines et de Pary par une vallée en remblai de 800 mètres. Le premier de ces tunnels a 532 mètres de longueur, le second 1,000 mètres; mais ce qu'ils ont de particulier, c'est qu'ils sont, l'un sur une pente, l'autre sur une rampe de 3 millimètres, sans doute pour diminuer la hauteur déjà considérable du remblai intermédiaire. Les voûtes des deux souterrains en plein cintre ont chacune 8 mètres d'ouverture, et la hauteur sous clef est de 6 mètres. Celle du souterrain de Lezines est à 24 mètres, et celle du souterrain de Pary à 35 mètres au-dessous du sol.

Ici le tracé devient très-sinueux, tandis que le profil continue de présenter nombre de rampes et de pentes successives. Nous approchons, en effet, des montagnes qui séparent le bassin de la Seine de celui de la Saône; néanmoins, jusqu'à Aisy, les pentes et les rampes n'ont pas plus de 3 millimètres sur 3,000 mètres de long, et les rayons des courbes moins de 1,000 mètres.

D'Aisy, le railway, suivant l'Armançon et le canal jusqu'à Montbard, les passe l'un et l'autre sur un pont biais, s'en sépare et s'engage dans la vallée de l'Oze, petite rivière qu'il remonte dans tout son cours.

Là commence la partie la plus difficile et la plus hardie du chemin. Déjà, pour arriver à la station de Montbard, on a dû gravir une rampe de 6 millimètres sur 1,700 mètres de longueur; mais, après cette station, c'est, d'abord, une suite presque continuelle de rampes de 4 à 5 millimètres sur une longueur totale de plus de 15,000 mètres, puis une rampe de 8 millimètres sur 3,220 mètres aux abords de la station de Verrey, qui se trouve sur un palier. A la suite, se présente de nouveau une rampe de 5 millimètres à $5^{mm},5$ sur 2,600 mètres, puis une de 8 millimètres sur 6,500, et enfin on arrive au souterrain de Blaisy, que l'on a dû ouvrir au col de ce nom pour établir la communication entre les deux bassins de la Seine et de la Saône.

Ce souterrain, de 4 kilomètres de longueur, ayant une section transversale de 8 mètres de largeur et de 7 mètres de hauteur sous clef, est percé à une profondeur qui va jusqu'à 200 mètres au-dessous du terrain naturel.

Vingt et un puits circulaires, d'un diamètre intérieur de 3 mètres, revêtus presque tous d'une enveloppe en maçonnerie, offrant ensemble une longueur développée de 2,458 mètres et espacés entre eux d'environ 200 mètres, ont dû être creusés pour permettre d'attaquer simultanément, sur un grand nombre de points, le déblayement de ce souterrain.

Il est, comme celui de la Nerthe, sur le chemin d'Avignon à Marseille, ouvert dans des marnes que l'on ne peut attaquer qu'à la mine, mais qui, une fois exposées au contact de l'air, deviennent promptement friables et sans adhérence entre elles. Il faut les préserver avec soin et sans retard de l'action de l'air et de l'humidité au moyen d'un revêtement complet en maçonnerie, qui s'exécute au fur et à mesure du percement de la galerie.

Le souterrain de Blaisy a donné lieu à une dépense de dix millions, soit 2,440 francs par mètre courant; c'est, à peu de chose près, le prix de revient du mètre courant du souterrain de la Nerthe.

Au sortir de ce tunnel, qui présente sur toute sa longueur une pente de 4 millimètres, on descend vers Dijon et sur Plombières par une suite de pentes ainsi distribuées : pente de 6 millimètres

sur 200 mètres; de 8 millimètres sur 2,500 mètres; palier de 212 mètres; pente de 8 millimètres sur 2,081 mètres; palier de 848 mètres; pente de 8 millimètres sur 10 kilomètres, etc.

On trouve encore, avant Dijon, une pente de 6^{mm},21, et, à l'entrée de la gare de cette ville, une pente de 6^{mm},6 et une courbe de 500 mètres de rayon.

Dans le cours de cette descente, on a dû traverser plusieurs vallées sur de grands viaducs, dont les principaux sont : à la sortie du souterrain de Blaisy, un premier viaduc de 190 mètres de long et de treize arches de 10 mètres d'ouverture chacune; un deuxième à Màlain, de 254 mètres et de dix-huit arches; un troisième à la Combe-de-Tain, de 220 mètres, à deux rangs d'arcades; un quatrième à la Combe-Bouchard, de 150 mètres et deux rangs d'arches; un cinquième enfin à la Combe-Neuvon, de 256 mètres et de seize arches.

Il y a, en outre, sept souterrains, dont le plus grand, celui de Màlain, a 328 mètres de longueur, et les autres ont ensemble 490 mètres. L'entrée à Dijon se fait latéralement au canal de Bourgogne. A la sortie, le railway marche parallèlement à la route impériale et la côtoie ensuite presque continuellement, de sorte qu'après une nouvelle pente de 5^{mm},1 sur 1,064 mètres et une courbe de 1,000 mètres de rayon, il se retrouve pour ainsi dire en plaine et reprend l'allure rectiligne. Il passe à Beaune, et présente, à l'entrée de la station de cette ville, une courbe de 500 mètres et une de 1,000 à la sortie. Il s'élève ensuite jusqu'à Chagny par une rampe de 5 millimètres sur 1,264 mètres, et redescend vers Châlons-sur-Saône par une pente aussi de 5 millimètres et de 4,900 mètres de longueur.

On trouve, à l'arrivée de Châlons, une courbe de 850 mètres de rayon et une de 500 mètres.

Cette section a été exécutée par les ingénieurs de l'État. On n'y peut citer, en fait de travaux d'art, qu'un pont-canal de 78 mètres de long, destiné à livrer passage au canal du Centre.

Entre Châlons et Lyon, le tracé du chemin de fer, depuis Châlons jusqu'à Anse, longe à peu près constamment la route impériale de Paris par la Bourgogne, se tenant tantôt à gauche, tantôt à droite

de cette route, et la traversant neuf fois, dont cinq fois au moyen de passages à niveau, deux fois au moyen de ponts construits au-dessus et deux fois au moyen de ponts établis au dessous de la route impériale.

A partir d'Anse, le tracé du chemin de fer abandonne la direction de cette route pour se maintenir dans la vallée de la Saône, toujours sur la rive droite de cette rivière et tout à fait au pied des coteaux qui bordent son cours jusqu'à Vaise.

A 1,700 mètres environ après la sortie de la gare de Vaise, le railway entre en souterrain sous le coteau de Fourvières ou de Sainte-Irénée, à une profondeur maxima d'environ 100 mètres, et se maintient ainsi en ligne droite sur 2,025 mètres de longueur. A sa sortie, le tracé traverse la Saône sur un pont en pierre composé de quatre arches en anse de panier de 27 mètres d'ouverture chacune, et il entre dans la gare de Perrache, à 100 mètres environ du quai de la rive gauche de la Saône.

Le profil en long du chemin de fer, entre Châlons et Lyon, n'offre aucune pente exceptionnelle. Il se compose d'une série de paliers séparés les uns des autres par des rampes et des pentes qui ne dépassent jamais 5 millimètres par mètre, et qui ont été nécessitées par les mouvements du sol.

Parmi les stations entre Châlons et Lyon ou aux extrémités de cette portion de la ligne de Paris à Lyon, celles de Vaise et de Perrache sont les plus importantes.

La station de Vaise contient une gare des voyageurs et une gare des marchandises, et, en outre, on y a établi un grand dépôt ainsi qu'un petit atelier de machines pour le service de l'extrémité de la ligne. La surface de l'ensemble de ces gares est de 18 hectares.

La gare de Perrache est moins importante que celle de Vaise, quoiqu'elle forme le point de jonction des deux grandes lignes de Paris et de Lyon, d'une part, et de Lyon à la Méditerranée, de l'autre. Mais il a été formellement entendu que cette gare serait exclusivement destinée aux voyageurs, ce qui diminue son importance et a permis d'en réduire la superficie.

Elle occupe, dans la presqu'île de Perrache, à Lyon, la plus grande partie des terrains qui sont situés entre le cours Napoléon

et la rue Dugas-Montbel, d'une part, et entre la rue de l'Entrepôt et Delandine, de l'autre.

La gare de Perrache couvre ainsi une surface d'environ 5 hectares 1/2, non compris 1 hectare environ pris sur l'entrepôt des liquides et destiné à recevoir un petit dépôt de machines.

La longueur totale de ce chemin, déduction faite de l'entrée et de la traversée de Lyon, est de 502k,947, sur lesquels 128k,972 en pente, 135k,402 en palier, et 238k,572 en rampe. La déclivité totale des pentes est de 521m,83, celle des rampes de 657m,75. La différence, en montant vers Lyon, est donc de 135m,92.

La longueur, y compris la traversée de Lyon jusqu'à la presqu'île Perrache, est de 515k,675, sur lesquels 330k,447 d'alignements droits, et 172k,498 de courbes.

On sait que le chemin de fer de Paris à Lyon est l'œuvre d'un des ingénieurs des ponts et chaussées les plus distingués, M. Julien; aussi tous les travaux en ont-ils été exécutés avec une perfection remarquable.

Chemin de Paris à Orléans. — C'est en 1838 que les Chambres ont voté le projet de loi qui a décrété l'établissement du chemin de fer de Paris à Orléans.

Trois lignes avaient été étudiées : celle qui a été exécutée, et que nous décrirons plus loin, et deux autres.

De ces deux dernières, l'une passait par Versailles, Rambouillet, et allait aboutir, après un assez long circuit, à Orléans.

Elle allongeait le trajet de 16 kilomètres, sans desservir des contrées bien riches ni des populations nombreuses. On lui reprochait, en outre :

1° De présenter des pentes trop fortes;

2° D'aboutir à un point de Paris éloigné de la rivière, disposition qui ne se prête pas facilement à un service économique de marchandises. Quant à ce qui concerne les pentes, le maximum étant de 4 millimètres, tandis qu'il n'était que de 3 dans le tracé adopté par le gouvernement, tel qu'il avait été étudié par son auteur, M. Desfontaines, on ne saurait admettre aujourd'hui qu'elles fussent excessives; mais l'accroissement de parcours était un défaut

plus grave, qui a fait rejeter avec raison, selon nous, le tracé par Versailles.

La seconde ligne explorée suivait la vallée de l'Essonne, se dirigeait sur Corbeil, passait par Malesherbes et Pithiviers, après avoir jeté un embranchement sur Étampes, et de là se rendait à Orléans en touchant Neuville.

Ce tracé était plus long que le tracé Desfontaines et traversait les terrains marécageux d'une vallée tourbeuse dans laquelle l'établissement d'un chemin de fer entraînerait à des dépenses et à des difficultés d'exécution considérables.

Le chemin d'Orléans, tel qu'il a été exécuté, peut être divisé en quatre sections, à savoir :

1° De Paris à Juvisy, en nombres ronds.	19 kil.
2° De Juvisy à Corbeil (embranchement).	12
3° De Juvisy à Étréchy (ligne mère).	32
4° D'Étrechy à Orléans.	70
Total.	133 kil.

Les deux premières sections, côtoyant presque constamment la Seine, n'offrent que des pentes faibles et des courbes de grand rayon. Elles n'ont nécessité que des mouvements de terrain ordinaires.

On a suivi pour la première le tracé du gouvernement, sauf quelques modifications de détail. Quant à la seconde, projetée d'abord sur la rive droite, elle a été établie sur la gauche, afin d'éviter un pont biais sur la Seine et d'obtenir une entrée plus centrale à Corbeil.

La troisième section, exécutée d'après le tracé de M. Desfontaines, présente une succession de remblais et de déblais assez considérables, sur une longueur de 18 kilomètres, depuis Juvisy jusqu'aux environs de Cossigny. Entre ces deux points, le tracé est constamment établi sur les flancs des coteaux qui bordent la vallée de l'Orge; il offre une série continuelle de courbes et de contre-courbes de 1,200 à 1,500 mètres de rayon, et une rampe courante et uniforme de 3 millimètres par mètre, qui, s'étendant sur une lon-

gueur de 1,500 mètres, s'élève de 45 mètres depuis le bassin de la Seine jusqu'au plateau de Marolles; de là, on redescend dans la vallée de la Juine jusqu'à Étréchy par des pentes dont la plus forte est de 2 millimètres par mètre, et au moyen desquelles on s'abaisse de 6^{m},40.

A Étréchy, se présentait, pour la quatrième section, une difficulté sérieuse. Il s'agissait de monter sur le plateau de la Beauce, c'est-à-dire à 67 mètres de hauteur. Il fallait donc développer le tracé dans une des vallées qui, de ce plateau, descendent jusqu'au bassin de la Seine.

La vallée de la Juine, choisie d'abord par les ingénieurs de l'Etat, eût permis d'adopter une pente de 3 millimètres par mètre. Mais le chemin de fer s'y fût trouvé établi en remblai sur un terrain humide et tourbeux à une grande profondeur, et, en outre, sur le flanc de coteaux à talus très-roides.

Les ingénieurs de la Compagnie, effrayés des difficultés d'un tel projet, des dépenses et des accidents qu'il pouvait occasionner, aimèrent mieux risquer une pente de 8 millimètres sur une longueur de 5,300 mètres, entre Étampes et Monerville, et suivre la vallée sèche de l'Hémery, qui, à la sortie d'Étampes, se trouve à la droite de la route impériale. La nouvelle ligne reste dès lors sans cesse à 4 ou 500 mètres de distance de cette route, à droite, depuis Étréchy jusqu'à Angerville; à gauche, d'Angerville à Orléans.

On a eu à exécuter, dans cette section, des travaux de terrassement assez considérables, notamment l'ouverture d'une tranchée dans la vallée de l'Hémery et l'établissement de remblais dans la vallée de Brière et dans celles de la Lonette et de la Chalonnette; mais la difficulté en a été notablement diminuée par la bonne qualité des terrains.

Arrivé sur le plateau de la Beauce, le tracé, dans un développement de 36 kilomètres, s'est trouvé placé dans les meilleures conditions, ne trouvant que des propriétés de peu de valeur, n'attaquant aucune construction, ne rencontrant aucun cours d'eau, et n'exigeant ni terrassements considérables ni travaux d'art difficiles.

Au reste, sur toute la ligne, les travaux d'art n'offraient que peu de difficultés. On n'y trouve aucun souterrain, aucun pont sur un

cours d'eau de quelque importance, et l'on n'y peut citer qu'un seul viaduc, celui du port de Choisy-le-Roi.

Cependant la construction de ce chemin ne fut pas exempte d'accidents imprévus. A l'ouverture d'une grande tranchée, près d'Ablon, dans un terrain glaiseux, il survint des éboulements si considérables, que l'ingénieur, M. Jullien, crut devoir renoncer aux travaux commencés et faire un détour coûteux pour la compagnie.

Le chemin d'Orléans possède trois gares remarquables : celles de Paris, d'Orléans et d'Étampes.

Chemin de Paris à Strasbourg. — Les études du chemin de Strasbourg remontent à l'année 1834, mais ce n'est qu'en 1843 que le tracé du chemin de Strasbourg a été étudié dans quatre grandes directions.

Un premier tracé, qu'on peut appeler tracé du Nord, s'embranchait sur la ligne du Nord, à Creil, suivant la vallée de l'Aisne, en passant par Compiègne et Soissons, la vallée de la Vesle, en touchant Reims, et gravissait le col d'Anse, coupait les trois vallées de l'Oise, de l'Aisne et de la Meuse, puis descendait dans les vallées de la Moselle et de la Meurthe, passait à Nancy, Lunéville, traversait les Vosges par Sarrebourg, le col de Hommarting, et arrivait à Strasbourg par la vallée de la Zorn. Une branche de cette grande ligne s'en détachait à Arnaville, petit village situé sur la Moselle, pour desservir Metz, Sarrebruck et Manheim.

Nancy, dans le cas où on eût adopté ce projet de tracé, se fût trouvé à 411 kilomètres de Paris, Strasbourg à 560, Metz à 437, Sarrebruck à 466.

Un second tracé, celui du Midi, empruntait le chemin de Corbeil, le continuait par Melun et Fontainebleau jusqu'à Montereau, quittait à Montereau le tracé du chemin de Lyon par l'Yonne, passait à Nogent-sur-Seine et Troyes, puis se dirigeait de là, presque en droite ligne, vers Pargny-sur-Saulx en franchissant la vallée de l'Aube à Lesment, et la vallée de la Marne à quelque distance en amont de Vitry; puis il gagnait Nancy en passant par Pagny-sur-Meuse et Toul, et suivait de Nancy à Strasbourg une ligne déjà indiquée.

Un troisième tracé, passant entre celui du Nord et celui du Midi, suivait la vallée de la Marne, desservait Lagny, Meaux, la Ferté, Château-Thierry, remontait la vallée de l'Ornain jusqu'à Bar-le-Duc, franchissait le faîte séparatif des vallées de la Marne et de la Meuse à Vadonville et Loxeville; puis descendait à Toul, dans la vallée de la Moselle, qu'il suivait jusqu'à Frouard, d'où il jetait un embranchement sur Metz, en remontant la Meurthe jusqu'à Nancy, où il reprenait le tracé déjà décrit.

C'est ce tracé intermédiaire qui a été adopté. Nous en donnerons une description plus détaillée.

Un quatrième tracé, enfin, s'élevant sur les plateaux qui séparent la vallée de la Marne de celles de la Seine et de l'Aube, quittait Paris, comme le précédent, traversait les plateaux de la Brie en coupant la Marne dans la direction de Lagny, touchait Coulommiers, Sézanne, et redescendait à Vitry pour se diriger sur Strasbourg par un des tracés déjà décrits.

De ces quatre tracés, celui du Nord, par Compiègne, Soissons et Reims, avait été étudié dans l'intention de favoriser la direction de l'Allemagne par Metz, Sarrebruck et Manheim, aux dépens de celle par Nancy et Strasbourg.

La ville de Reims, desservie aujourd'hui par un simple embranchement, l'était alors directement.

Le tracé du Midi, par Corbeil, Melun, Fontainebleau et Troyes, présentait l'avantage d'une grande économie, puisqu'il avait un tronc commun avec les chemins d'Orléans et de Lyon; mais il passait à une grande distance d'une portion importante du territoire de l'est desservie par le chemin actuel.

Le tracé des plateaux de la Brie ne donnait aucune satisfaction aux habitants de la vallée de la Marne et de la Seine.

Le tracé de la vallée de la Marne traverse au contraire les populations les plus denses et les plus riches; il est plus court que celui du Nord, et mieux à couvert de l'ennemi en cas d'invasion. Il se recommandait ainsi par un grand nombre de considérations.

On a étudié sur ce tracé plusieurs variantes qu'il ne nous paraît pas d'un grand intérêt de faire connaître.

Tel qu'il a été exécuté, le chemin de Paris à Strasbourg passe à

Lagny, Meaux, la Ferté-sous-Jouarre, Château-Thierry, Épernay, Châlons, Vitry-le-Français, Bar-le-Duc, Commercy, Toul, Nancy, Lunéville, Sarrebourg et Saverne. Il dessert indirectement les villes de Reims et de Metz; la ville de Metz par un embranchement qui se prolonge jusqu'à la frontière prussienne, à Forbach; et la ville de Reims, par un embranchement que l'on continue sur Mézières, Sedan et Givet. La Compagnie a entrepris les travaux d'un chemin de Nancy à Vesoul, dont une partie, celle de Nancy à Epinal, vient d'être terminée. Enfin un autre embranchement, déjà exploité de Blesmes à Gray, relie ou reliera prochainement la ligne de Strasbourg avec toutes les usines de la Haute-Marne, Chaumont, Langres et Gray.

De Paris à Meaux, le tracé ne présente que de faibles pentes et des courbes à grand rayon; mais la nécessité de traverser le faîte séparatif des vallées de la Seine et de la Marne et plusieurs contreforts de cette dernière vallée a exigé des terrassements considérables et le percement, à Chaliffert, d'un souterrain de 194 mètres.

L'une de ces tranchées, celle de la Maison-Blanche, présentant un déblai de 300,000 mètres cubes, a été ouverte dans des terrains argileux dans lesquels on a été obligé d'exécuter des travaux de consolidation assez dispendieux.

Aux abords de la station de Meaux, on trouve une courbe de 700 mètres de rayon, et des pentes et des rampes de 5 millimètres par mètre; mais, bientôt après, les rayons des courbes rentrent encore dans les limites de 1,000 à 1,200 mètres.

C'est au delà de Meaux que l'on rencontre la tranchée de Poincy, la plus considérable de toute la ligne; elle a 1,900 mètres de développement; sa plus grande hauteur est de 16 mètres, et la quantité des déblais dépasse 500,000 mètres cubes.

La nécessité de traverser un autre contre-fort de la Marne, dans les bois de Meaux, a déterminé, dans cette localité, l'ouverture de deux autres tranchées très-importantes encore, et le percement d'un nouveau souterrain, celui d'Armentières, de 644 mètres de longueur.

A ce point, le tracé devient plus tourmenté; il se compose en plan d'une suite de courbes de 1,000 à 1,200 mètres de rayon; en

profil, il présente un long palier de 7,000 mètres environ, une pente de 0^{mm},5 sur 2,000 mètres, et un nouveau palier sur lequel se trouve la station de la Ferté-sous-Jouarre. Les tranchées sont d'une importance secondaire.

Au delà de la Ferté, on arrive à un troisième souterrain, celui de Nanteuil, de 939 mètres de longueur; on pénètre ensuite dans le département de l'Aisne, où l'on ne tarde pas à rencontrer un quatrième tunnel, à l'extrémité d'une rampe de 1 millimètre sur 2,000 mètres, et d'une courbe de 1,000 mètres de rayon. Ce souterrain, dit de Chézy-l'Abbaye, n'a qu'une longueur de 452 mètres; mais il est percé dans un terrain de glaise tellement fluide, que le prix du mètre courant a dépassé 2,290 francs.

Aux abords de Château-Thierry, et surtout au delà de cette ville, le tracé est de nouveau très-sinueux, sans que le rayon des courbes descende au-dessous de 1,000 mètres. Il est ensuite presque rectiligne jusqu'à Epernay, où il arrive par une courbe d'un rayon de 1,000 mètres. Jusqu'à Châlons, il n'y a à relater qu'une rampe de 4 millimètres sur 2,500 mètres, près d'Aulnay, et une courbe de 700 mètres de rayon à l'arrivée dans la station de Châlons.

Le tracé se continue jusqu'à Vitry-le-Français sans courbes ni pentes ou rampes présentant quelque importance; il passe à Vitry de la rive gauche à la rive droite de la Marne.

Ce n'est pas à Vitry que le railway passe pour la première fois d'une rive à l'autre de la vallée de la Marne, qu'il a constamment suivie depuis l'extrémité sud de la tranchée de la Maison-Blanche; les exigences de la configuration du terrain ont nécessité sur la Marne sept traversées successives depuis Chaliffert jusqu'au delà du souterrain de Nanteuil, et, en conséquence, sept grands ponts de trois à cinq arches, présentant un ensemble de 70 mètres de débouché.

Ces ponts constituent, avec les quatre souterrains et les tranchées considérables dont nous avons déjà parlé, les seuls travaux remarquables des trois premières sections.

A Vitry, le tracé quitte la vallée de la Marne pour suivre celle de la Saulx. Il abandonne à son tour la Saulx pour remonter l'Ornain, son affluent, jusqu'à Bar-le-Duc.

Cette partie du tracé ne présente que des courbes à grand rayon et des pentes et rampes dont l'inclinaison n'excède pas 3^{mm},5.

A la sortie de Bar-le-Duc, le tracé offre une série presque continue de courbes de 800 à 1,200 mètres de rayon; il côtoye d'abord le canal de la Marne au Rhin, puis l'Ornain, et quitte cette rivière pour monter au faîte séparatif de la vallée de la Marne et de la Meuse, qu'il atteint à Vadonville. Dans ce parcours, le profil est très-accidenté. On y trouve d'abord, sur une longueur de 1,200 mètres, une rampe variée de 3 à 5 millimètres avec deux alignements de 200 mètres inclinés de 2 millimètres en guise de palier aux stations de Longeville et de Nançois-le-Petit.

Vient ensuite une rampe de 8 millimètres sur 10,270 mètres qui s'étend à peu près jusqu'au palier de la station de Loxeville, puis une portion de chemin d'environ 3 kilomètres avec une très-faible inclinaison, et, enfin, un nouveau plan incliné de 8 millimètres de pente en sens contraire du premier, s'étendant sur une longueur d'environ 10 kilomètres jusqu'à la station de Lérouville; on arrive ainsi dans la vallée de la Meuse, qu'on suit jusqu'à Pagny après avoir touché Commercy.

A Pagny, le tracé quitte la vallée de la Meuse pour rentrer dans celle de l'Ingressin, affluent de la Moselle, et traverser le faîte séparatif de ces deux vallées; il coupe deux contre-forts en souterrains : le souterrain de Pagny, d'une longueur de 573 mètres, et le souterrain de Foug, d'un longueur de 1,120 mètres. Il suit alors le cours de l'Ingressin en longeant la route impériale de Paris à Strasbourg, et débouche à Toul, dans la vallée de la Moselle, où il reste jusqu'à Frouard. Le lit de cette rivière, dans cette partie de son cours, est tellement sinueux, que le tracé doit passer trois fois d'une rive à l'autre en franchissant la rivière sur trois grands ponts de 135 à 160 mètres de débouché chacun.

A Frouard, où se trouvent le confluent de la Moselle et de la Meurthe et le point de jonction de l'embranchement de Metz, le tracé quitte la vallée de la Moselle pour rentrer dans la vallée de la Meurthe, qu'il suit jusqu'à Nancy en longeant la route impériale de cette ville à Metz. De Commercy à Toul et à Nancy, ou, pour mieux dire, dans la traversée des vallées de la Meuse, de l'Ingressin et de la

Moselle, on reste, pour l'inclinaison des rampes et des pentes et pour les rayons des courbes, dans les limites ordinaires, et il n'y a de travaux d'art remarquables que les deux souterrains et les trois grands ponts sur la Moselle dont nous avons parlé ci-dessus.

A Nancy, le tracé contourne la ville en la serrant de près dans les faubourgs Stanislas et Saint-Jean, après quoi il prend une direction presque parallèle à la route de Paris à Strasbourg sur un développement d'environ 6 kilomètres; puis il franchit cette route et se dirige vers la Meurthe, qu'il traverse à 8 kilomètres de Nancy. Se trouvant alors sur la rive droite de la vallée, il en suit les sinuosités en remontant le cours de la rivière, qu'il traverse de nouveau deux fois de suite, et s'en éloigne enfin pour se rapprocher de Lunéville.

Dans tout ce trajet, d'environ 30 kilomètres, il n'y a qu'une rampe de 5 millimètres sur 615 mètres de développement, et une pente de 4 millimètres sur 200 mètres. L'inclinaison des autres pentes et rampes ne dépasse pas $3^{mm},5$; toutes les courbes y sont à grand rayon, à l'exception des deux qui précèdent et suivent la station de Lunéville; leur rayon n'est que de 800 mètres.

Les terrassements y sont assez considérables, notamment pour la tranchée de la traversée de Nancy et pour le percement d'un contrefort qui s'avance près de Dombasle jusqu'à la Meurthe.

Les trois grands ponts dont nous avons parlé plus haut sont les seuls travaux d'art considérables qu'on rencontre dans cette section. Le premier de ces ponts a d'autant plus d'importance qu'il sert en même temps de viaduc pour le chemin et de pont aqueduc pour le canal de la Marne au Rhin.

De Lunéville à Sarrebourg, le tracé n'offre rien de remarquable : il remonte, à partir de Marainvillers, le ruisseau des Amis; coupe, au delà de Réchicourt, le col séparatif des eaux du Saôlon et de la Sarre; arrive à Sarrebourg après avoir contourné le promontoire de la vallée de Heming, et se porte enfin vers Hommarting. Il n'y a, dans cette section, d'un développement de 55 kilomètres, qu'un travail de quelque importance : le pont sur la Sarre, à Sarrebourg, près la station de cette ville. L'inclinaison des pentes et des rampes et le rayon des courbes y restent dans les limites ordinaires.

C'est au delà d'Hommarting et jusqu'à Saverne, section qui comprend la traversée de la chaîne des Vosges, que se rencontrent le tracé le plus difficile et les travaux les plus considérables de la ligne de Paris à Strasbourg. La traversée du faîte séparatif des bassins de la Sarre et du Rhin a exigé d'abord un percement en souterrain d'une longueur de 2,778 mètres, que le chemin traverse avec une pente de 5 millimètres, et qui débouche dans la très-pittoresque vallée de Lutzelbourg, où coule la Zorne. Cette vallée est tellement étroite sur quelques points, que c'est à peine si le chemin de fer, le canal de la Marne au Rhin, le lit de la rivière et le chemin d'exploitation, qui y sont réunis, peuvent y trouver place.

Le canal, qui, à la sortie du souterrain d'Hommarting, passe au-dessus du chemin de fer, s'abaisse promptement au moyen d'écluses, qui rachètent des chutes assez fortes, et, bientôt après, c'est le chemin de fer qui, à plusieurs reprises, passe au-dessus du canal.

Le tracé est très-sinueux dans cette vallée : il est formé en plan d'une série de courbes dont le rayon varie dans les limites de 750 à 1,250 mètres, et, pour arriver à ce résultat, il faut encore franchir en souterrain cinq contre-forts de la chaîne des Vosges.

Quatre de ces tunnels, avant l'usine de Stambach, le premier de 247 mètres de longueur, le second de 489 mètres, le troisième de 395 mètres, et le quatrième de 482, ne sont séparés que par des intervalles respectifs de 1,450, 2,905 et 290 mètres, partie en remblai et partie en tranchée, et l'on trouve à leur entrée comme à leur sortie des courbes de 750 à 800 mètres de rayon. Un cinquième tunnel, avant Saverne, d'une longueur de 324 mètres, est encore engagé en partie dans une courbe de 750 mètres de rayon.

A partir de la limite du département du Bas-Rhin, le tracé est presque constamment en pente; mais l'inclinaison n'y dépasse pas 3 millimètres, et ce n'est qu'à la sortie de Saverne qu'on trouve une pente de 5 millimètres sur 1,100 mètres de longueur.

Le tracé, qui, depuis la sortie du souterrain de Hommarting, a constamment suivi la vallée de la Zorne, continue à longer le cours de cette rivière de Saverne à Brumath, puis il se recourbe brusquement pour gagner Strasbourg en longeant la route de Wissembourg.

On trouve encore quelques courbes d'un rayon de 700 à 800 mètres aux abords des stations de Saverne et de Dettwillers; mais, entre Saverne et Strasbourg, les courbes sont généralement à grands rayons. L'inclinaison des pentes et rampes y est faible aussi, et cependant elle est portée à 5 millimètres sur une longueur de 800 mètres près de Mommenheim.

Les chemins de fer de Paris à Strasbourg et de Strasbourg à Bâle se réunissent en avant des fortifications au moyen d'une courbe de 700 mètres de rayon, sur un palier horizontal, et les deux chemins pénètrent ensemble dans la place avec une pente de 5 millimètres.

La gare de Paris est l'une des plus belles sous le rapport de l'architecture.

La gare de Strasbourg, dans un style moins riche que celle de Paris, est aussi remarquable. On peut encore citer celles d'Épernay, de Châlons, de Bar-le-Duc, de Nancy et de Lunéville, de Metz, de Frouard et de Forbach.

Aux stations de Chelles et de Trilport, la longueur des paliers étant insuffisante, le départ des trains de marchandises très-chargés ne peut s'effectuer, surtout dans certains temps de brouillard et de verglas, que très-difficilement.

Les trains arrivant à la Ferté-sous-Jouarre du côté de l'est par une tranchée courbe rendent les abords de cette station fort dangereux.

Les stations sont généralement placées très-près du centre des villes, celle de Château-Thierry seulement est établie à 600 mètres de la ville.

Les projets du chemin de Strasbourg ont été étudiés et les travaux exécutés sous la direction de M. Schwilgué, inspecteur général des ponts et chaussées, par MM. de Sermet, Marinet, Guibal, Collignon, Jacquiné et Boulanger, que la mort est venue frapper avant la fin des travaux, et qui eut pour successeur M. Guerre, tous six ingénieurs en chef des ponts et chaussées.

Chemin de ceinture[1]. — Le tracé du chemin de ceinture est eu-

[1] Extrait des *Annales des ponts et chaussées*.

tièrement compris entre le mur d'octroi et les fortifications : il se détache aux Batignolles des voies de la gare des marchandises de Rouen, longe les fortifications dans la première partie de son parcours, passe au-dessous des chemins de fer du Nord et de Strasbourg, et, presque immédiatement après, au-dessus du canal de l'Ourcq, traverse sur arcades la plus grande partie de la commune de la Villette, puis entre en souterrain pour arriver à Belleville; il reparaît au jour près de la place de Ménilmontant, arrive à Charonne après un nouveau parcours souterrain, et se poursuit, sans grands travaux, de Charonne au chemin de fer de Lyon; il franchit ce chemin, ainsi que la Seine, et vient aboutir au chemin d'Orléans, à la sortie de la gare d'Ivry. Des embranchements spéciaux le raccordent avec les trois lignes qu'il rencontre dans son parcours.

Le développement total du chemin de ceinture est de 16,871 mètres, y compris les raccordements avec les grandes lignes. Mais la ligne principale n'a en réalité que 15,185 mètres. Souterrains, arcades, viaducs en tôle, ponts sur un grand fleuve, sont groupés sur son faible parcours, où se trouvent ainsi représentés tous les ouvrages que peut comporter l'exécution d'un chemin de fer.

Parmi les ouvrages en tôle, on remarque les ponts des chemins du Nord et de Strasbourg, construits sous des lignes en exploitation, ponts que M. Brame a décrits dans les *Annales*, et le pont du canal de l'Ourcq, franchissant le bassin de la Villette par deux travées de 20 mètres d'ouverture chacune. Les longrines reposent sur des poutrelles transversales en fer double T de 30 centimètres de hauteur, qui sont elles-mêmes portées par trois poutres longitudinales en tôles longues de 45 mètres, et dont la principale pèse 22,000 kilogrammes.

Les souterrains de Belleville sont ouverts dans la masse de plâtre, mais leur voûte sort fréquemment de cette masse et pénètre alors dans les argiles, dont la présence a souvent opposé des difficultés sérieuses au travail. Leur développement total est de 2,000 mètres; ils ont coûté ensemble 2,130,000 francs, ou 1,000 francs par mètre courant.

Trois séries d'arcades ont été construites dans les terrains précieux des communes de la Villette et d'Ivry, afin de réduire l'espace

occupé par le chemin de fer; leur développement dépasse 1 kilomètre, déduction faite des douze ouvrages d'art qui y sont englobés. Ces arcades, élevées de 5 à 7 mètres, reviennent à un peu moins de 500 francs par mètre courant de chemin de fer.

Les ouvrages sont au nombre de quarante-quatre, et présentent un développement de 4 kilomètres. Le principal est le pont qui franchit la Seine à Ivry, et livre passage à la fois au chemin de fer et à une route publique. Il se compose de cinq arches en arc de cercle de 34^m,50 d'ouverture chacune et de deux arches de 12 mètres établies sur les routes qui bordent les quais. Sa largeur entre les têtes est de 15^m,30; la hauteur des rails au-dessus des basses eaux de la Seine est de 15 mètres; chaque pile est fondée sur 140 pieux de 12 à 14 mètres de longueur; de petites voûtes, présentant ensemble un vide de 3,500 mètres cubes, ont été construites dans le massif des tympans pour réduire la charge supportée par ces pieux. Ce grand ouvrage n'a pu être commencé qu'au mois de juillet 1852; il a été exécuté en dix-huit mois; il coûte 1,800,000 francs.

Les pentes du chemin de ceinture varient de 2 millimètres à 10^{mm},65, le rayon maximum des courbes est de 1,082 mètres, le rayon minimum de 300 mètres.

Les dépenses d'exécution de ce chemin s'élèvent à 11,500,000 fr., non compris le matériel roulant; les terrains entrent dans ce chiffre pour 2,600,000 francs.

La Compagnie du Nord a rendu hommage au talent incontestable de M. Couche, ingénieur du chemin de ceinture, en le nommant ingénieur en chef de ses travaux pour remplacer M. Maniel, devenu directeur des chemins autrichiens.

Chemin de Londres à Brighton. — Parmi un grand nombre de tracés proposés pour le chemin de Londres à Brighton, le parlement anglais a choisi le plus direct, mais aussi le plus coûteux. Aussi ce chemin est-il celui pour lequel, en Angleterre, le cube des terrassements a été le plus considérable : il a atteint le chiffre énorme de 75,000 mètres cubes par kilomètre.

Ce chemin devrait être rangé parmi ceux à faibles pentes si, sur le tronc commun à cette ligne et à celle de Londres à Douvres, le

profil ne présentait une rampe de 1 centième sur une longueur de 1 kilomètre, car, sur tout le reste du trajet, l'inclinaison ne dépasse jamais 4 millièmes.

Le cube de la plus grande tranchée est de 700,000 mètres, celui des plus grands remblais de 350,000 mètres. Les tranchées ont été généralement percées dans la craie. Une grande partie des terres a été retroussée. On rencontre aussi sur le chemin de Londres à Brighton plusieurs souterrains.

Chemin de Londres à Douvres (South-Eastern railway).—Toutes les pentes sur ce chemin sont inférieures à 4 millièmes; si ce n'est sur le tronc commun aux deux lignes de Douvres et de Brighton. Les courbes sont de grand rayon.

Les travaux d'art et de terrassement n'y présentent aucune particularité digne d'observation. Les plus importants se trouvent près du point d'arrivée à Douvres.

La pose du chemin de Londres à Douvres a été faite avec un soin tout particulier par des procédés nouveaux décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

Parmi les stations, nous citerons la station extrême de Bricklayer-Arms, l'une des mieux disposées des chemins anglais.

Les plans en ont été publiés dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*. Ce chemin est l'œuvre de l'habile ingénieur Cubitt.

Chemin de Liverpool à Manchester. — Le chemin de Liverpool à Manchester est le doyen des chemins à grande vitesse. Le chemin de Saint-Étienne est son aîné d'une année, mais il n'admet pas cette rapidité de transport qui mérite l'épithète de grande sur les chemins de fer (de 60 à 80 kilomètres par heure), et d'ailleurs, bien que la circulation des voyageurs y soit considérable, le transport du charbon de terre est la principale source de ses revenus.

Lorsqu'on forma le projet d'exécuter le chemin de Liverpool à Manchester et qu'on adopta le tracé de Stephenson, les machines locomotives étaient encore bien grossières, bien imparfaites. Elles n'avaient, pour ainsi dire, de commun que le nom avec ces machines admirables qui ont porté le nom de Robert Stephenson aux extrémités les plus éloignées du globe. On ne pensait pas alors qu'il

fût possible d'employer avantageusement les machines locomotives sur toute la ligne du chemin de fer, et ce fut dans cette supposition que l'on conserva dans le tracé deux plans inclinés en sens inverse, comprenant chacun une longueur de plus de 2 kilomètres et ayant une pente de 1 centième. Deux machines fixes devaient les desservir; et, comme on était forcé, pour pénétrer dans l'intérieur de la ville de Liverpool, de traverser en souterrain une colline sur laquelle les maisons s'élèvent en amphithéâtre, on décida de prime abord l'établissement de trois machines fixes entre Liverpool et Manchester.

Rien ne s'opposait à l'emploi des machines locomotives sur les autres parties du chemin, dont l'inclinaison ne dépassait pas $1^{mm},1$, et qui ne présentait de circuit de petit rayon qu'à l'entrée de Manchester. On discuta cependant la question de savoir si les machines fixes ne seraient pas préférables, et ce dernier mode, soutenu par deux ingénieurs, MM. Rastrick et Walker, fut sur le point d'être adopté. Mais la question fut tranchée par l'apparition, au célèbre concours de Liverpool, des machines à chaudière tubulaire qui remontèrent les pentes de 1 centième avec une assez forte charge et une rapidité dont les spectateurs furent émerveillés. On renonça dès ce moment aux machines fixes pour toute la ligne, sauf la partie inclinée de 2 pour 100 établie sous la ville de Liverpool.

Une seule entrée dans Liverpool n'eût pas été suffisante eu égard à l'active circulation des voyageurs. Aussi le chemin de fer se divise-t-il aux portes de Liverpool en trois branches souterraines. Le plus long souterrain, qui aboutit aux quais et dont la pente est de 2 centièmes, sert exclusivement au transport des marchandises; les deux autres à celui des voyageurs. Tout le reste de la ligne est à ciel ouvert, mais son aspect est singulièrement varié : tantôt le chemin fend le terrain par une tranchée profonde de 20 mètres de hauteur dont les parois sont à pic, comme au mont Olive; tantôt il traverse les vallées sur de larges remblais, comme à Broad-Green, ou par de longs viaducs, comme à Tankey; ou bien, enfin, il n'occupe qu'une bande mince au niveau du sol, comme dans les marais du Chat. Ces immenses marais ont une profondeur variable qui atteint quelquefois 10 mètres. Les ingénieurs les plus expérimentés avaient déclaré

au Parlement qu'il était impossible de les franchir. Georges Stephenson, ancien ouvrier mineur, fut plus habile que les plus habiles ingénieurs : il fixa les bandes de fer sur ce terrain mouvant. L'Angleterre récompensa plus tard ce héros de l'industrie.

Chemin de Manchester à Leeds. — Ce chemin, un des principaux anneaux de la chaîne qui réunit le port de Liverpool à celui de Hull, traverse les districts les plus manufacturiers de l'Angleterre.

Il n'est pas moins curieux sous le rapport des travaux qu'important comme ligne commerciale. C'est, après le chemin de Liverpool à Manchester, l'œuvre la plus remarquable du célèbre Georges Stephenson.

Les courbes du chemin de Manchester à Leeds ont généralement 1,200 mètres au moins de rayon, à l'exception de trois courbes près de Charlestown, qui n'ont chacune que 250 mètres. On a été conduit à l'adoption de ces petites courbes par l'éboulement d'un tunnel qui a forcé à dévier de la ligne projetée. Elles n'ont du reste que 300 mètres de longueur. On les passe en modérant la vitesse des locomotives.

De Manchester, le chemin monte vers le point culminant de la ligne, situé à 28 kilomètres environ de Manchester, par une suite de pentes variées, dont une de 8 millièmes sur 4,500 mètres de longueur, et une autre de $6^{mm},5$ sur 6,500 mètres. Il descend ensuite du côté de Leeds par des pentes plus douces.

Le cube des terrassements sur ce chemin est de plus de 48,000 mètres cubes par kilomètre, ce qui est considérable.

Les ponts sont au nombre de 116. Une partie sont construits en pierre. Le cube des maçonneries, non compris la maçonnerie des souterrains, est de 31,000 mètres par kilomètre.

On compte jusqu'à huit souterrains, dont la longueur totale est de 4,600 mètres; le plus long a 575 mètres.

Chemin de Newcastle à Carlisle. — Ce chemin, un des plus anciens de l'Angleterre, est long de 99, 00 mètres.

Le profil présente deux rampes de Carlisle vers Newcastle, l'une de $9^{mm},5$ sur une longueur de 6,200 mètres, l'autre de $5^{mm},5$ sur une longueur de 5,500 mètres. Sur toutes les autres rampes ou pentes, l'inclinaison ne dépasse pas 5 millièmes.

Ce qui distingue surtout ce chemin des autres chemins anglais et en fait un sujet digne d'étude pour l'ingénieur, c'est le grand nombre de courbes de petit rayon que l'on a dû admettre pour lui tracer son passage à travers un pays assez accidenté. Plusieurs n'ont pas au delà de 400 mètres de rayon.

Les travaux de terrassement sur ce chemin sont importants. Le plus considérable de tous est la grande tranchée de Cowran, longue de 1,600 mètres, dont le cube a été de 700,000 mètres. M. Wishaw prétend qu'elle a été percée à forfait par un entrepreneur au prix minime de 85 centimes par mètre cube; mais il faut observer qu'une partie seulement des terres a été portée en remblai dans l'axe du chemin ; le reste a été retroussé.

Parmi les ouvrages en maçonnerie du chemin de Carlisle, nous nommerons en première ligne le grand viaduc de Corby, qui traverse la rivière Eden à environ 5,500 mètres de Carlisle, à une hauteur de 30 mètres au-dessus du niveau des basses eaux. Ce viaduc est entièrement construit en grès rouge. Il se compose de 5 arches en plein cintre de 24 mètres d'ouverture, posant sur des pieds-droits de $4^{m},80$ d'épaisseur.

Chemin de Malines à Cologne. — La Belgique, pays généralement plat et peu accidenté, se trouvait dans les circonstances les plus favorables à l'établissement des chemins de fer, et l'on a pu s'y imposer des conditions de tracé assez rigoureuses.

C'est ainsi qu'on a adopté, sur la presque totalité du réseau belge, 4 millimètres pour maximum des pentes et rampes, et 1,000 mètres pour rayon minimum des courbes; cette dernière limite n'étant pas toutefois de rigueur dans le voisinage des stations.

Seule, la portion de la ligne de l'Est établie dans la vallée de la Vesdre, et qui s'étend de la Meuse à la frontière prussienne, s'est trouvée soustraite aux conditions générales, tant par la grande hauteur à franchir dans un aussi court trajet (188 mètres sur 38 kilomètres environ) que par suite des nombreux accidents de terrain qui sont accumulés en cet endroit plus que sur aucun autre point de la Belgique.

Nous voulions d'abord, en nous conformant strictement à la classification que nous avons établie, décrire séparément la section

de la Vesdre parmi les chemins à pente moyenne. Mais nous nous sommes décidé à considérer l'ensemble de la ligne de l'Est, par ce motif que la première section, de Malines à Ans, est parfaitement propre à donner une idée des autres chemins belges. Elle se trouve en effet dans les conditions communes, mais ce n'est pas sans quelque difficulté qu'on a pu l'y soumettre. Cependant elle présentait par elle même trop peu d'intérêt pour nous occuper spécialement, et nous n'aurions eu d'ailleurs nulle autre part occasion d'en parler.

Les plans inclinés d'Ans à Liége, des détails desquels nous nous occuperons plus tard, trouveront ici naturellement leur place au point de vue du tracé.

Enfin, nos lignes de démarcation étant ainsi enfreintes une première fois, nous n'avons plus vu d'obstacle à décrire ainsi comme complément le chemin rhénan, qui fait suite, sur le territoire prussien, à la ligne belge de l'Est, et qui présente quelques particularités remarquables.

De Malines à Wespelair, on descend quelque temps, mais de 1 mètre seulement, puis on s'élève vers Ans d'une manière continue jusqu'à une légère contre-pente que l'on rencontre avant Tirlemont.

On passe ainsi à Louvain, à Tirlemont, à Landen, à Warremens, et l'on arrive à Ans, c'est-à-dire à 86 mètres environ au-dessus du point de départ.

A mesure qu'on s'éloigne de Malines, les accidents de terrain se multiplient et deviennent plus considérables; aussi le chemin de fer est-il presque continuellement tracé en courbe. Entre Malines et Louvain, sur une longueur de 23,600 mètres, on trouve encore deux grands alignements, l'un de 10,000 mètres environ, l'autre de 4,000 mètres. Mais, entre Louvain et Waremme, sur une longueur de 42,840 mètres, les courbes se succèdent presque sans discontinuité, sauf deux alignements de près de 3,000 mètres. De Waremme à Ans, distants l'un de l'autre de 19,670 mètres, le railway, se maintenant sur le plateau supérieur de la chaîne qui sépare la Meuse de l'Escaut, ne présente au contraire que deux courbes et trois alignements de 3 à 10 kilomètres.

Quoique cette section ait dû traverser un pays déjà plus accidenté que n'en rencontrent les autres lignes, elle s'est pourtant tenue, comme nous le disions plus haut, à peu près dans les conditions générales.

Une seule pente présente le chiffre de 0,0042; une seule courbe a son rayon au-dessous de 1,000 mètres; c'est celle qui se trouve à la sortie de la station de Malines, et qui n'a que 500 mètres de rayon sur 426 mètres de développement.

Le plateau qui se termine au village d'Ans, situé à 4,000 mètres de la Meuse, et qui forme en quelque sorte un des faubourgs de la ville de Liége, est élevé de 118 mètres au-dessus du lit de la Meuse, et pourtant la station, qui est à son extrémité orientale, n'est éloignée du fleuve que de 4 kilomètres.

Une différence de niveau si considérable ne pouvait être franchie dans un aussi court espace sans qu'on fût obligé de sortir des conditions de pente et de courbure qu'on s'était imposées; toutefois des études multipliées furent d'abord faites dans plusieurs directions pour s'assurer s'il n'était pas possible de descendre vers la Meuse par un tracé développé de manière à ne pas dépasser une pente de 5 millimètres.

L'examen des divers tracés qui furent présentés et qui comprenaient des remblais de 17, 20, 24, 29 mètres de hauteur, des viaducs au-dessus du chemin, hauts de 42, 50 et 77 mètres, fit renoncer à ce projet, et adopter définitivement la descente au moyen de plans inclinés desservis par des machines fixes.

La dénivellation totale est rachetée par deux plans inclinés en ligne droite de 1,980 mètres de longueur, réunis par une courbe horizontale de 530 mètres de rayon, de sorte que chacun d'eux est précédé et suivi d'un palier. Leur pente maxima est de $0^m,03$, mais le passage de l'horizontale à cette inclinaison extrême a lieu insensiblement au moyen de pentes intermédiaires, de la manière suivante :

PLAN SUPÉRIEUR.

Longueurs	90 mèt.	Pentes	0,015	Hauteur franche	1 m 35
—	1,150 —	—	0,030	—	34 50
—	628 —	—	0,028	—	17 58
—	112 —	—	0,014	—	1 57
Longueur totale	1,980 mèt.	Pente moyenne	0,0283	Hauteur totale	55 m 00

PLAN INFÉRIEUR.

Longueurs	80 mèt.	Pentes	0,015	Hauteur franche	1 m 20
—	1,273 —	—	0,030	—	38 19
—	489 —	—	0,028	—	13 69
—	138 —	—	0,014	—	1 92
	1,980		0,0283		55 m 00

Il paraît qu'on aurait pu arriver à Liége dans les conditions ordinaires, en quittant le tracé actuel à Waremme, et en se dirigeant de là vers la Meuse par la vallée de la Jaar. Mais ce projet eût amené le chemin sur le territoire hollandais, et, s'il fut jamais mis en avant, il dut être écarté par des considérations politiques.

Du pied des plans inclinés, le chemin se dirige horizontalement jusqu'à la Meuse, qu'il franchit à environ 8 mètres au-dessus des eaux moyennes sur un grand pont dit du Val-Benoît. Il a cinq arches, de 20 mètres d'ouverture chacune. Sa longueur totale est de 150 mètres. Il donne à la fois passage au chemin de fer, aux voitures et aux piétons.

Ici commence le tracé de la Vesdre.

Deux systèmes se présentaient pour s'élever du fond de la vallée de la Meuse jusqu'au plateau d'Eupen, où se trouve la frontière de Prusse : celui d'une rampe forte et continue, et celui de pentes douces réunies par des plans inclinés avec machines fixes.

Après avoir discuté les divers projets présentés pour le tracé de cette section, après avoir envoyé en Angleterre une commission d'ingénieurs pour y examiner en détail les divers railways à fortes pentes et à plans inclinés qui y sont en exploitation, on a adopté le premier système, celui des rampes fortes et continues.

L'inclinaison moyenne est de $0^m,00494$; mais les rampes les plus ordinaires sont $0^m,005$ et $0,^m006$, et l'on en peut citer de $0^m,008$ et $0^m,009$. La rampe de 9 millimètres n'a été adoptée qu'en un seul point et sur une petite longueur, 334 mètres. On l'a substituée à un plan incliné primitivement projeté à la station de Verviers. Les rayons des courbes atteignent quelquefois 1,400 et 1,500 mètres, mais le plus souvent ils sont au-dessous de 1,000 mètres, et descendent à 700, 600 et même 480 et 320 mètres.

Les tableaux suivants offrent un résumé des rampes et des courbes employées dans cette section.

1° Tableau des inclinaisons et des longueurs correspondantes.

INCLINAISONS.			LONGUEURS			RAPPORT DES COURBES AUX ALIGNEMENTS.	OBSERVATIONS.
PENTES.	RAMPES.		TOTALE.	ALIGNEMENTS.	COURBES.		
	minimum.	maximum.					
	mm.	mm.					de rayon.
»	de 3	à 4	11,692	5,744	5,948	1,03	Courbes de 800 à 1,500 m.
»	5	5,1	3,303	204	3,099	15,20	*Id.* 900 à 1,000
»		2	604	»	604	»	*Id.* 2,000
»	5	5,5	1.769	306	1,463	4.78	*Id.* 1,000
»	6,5	6,8	1,588	695	893	1,28	*Id.* 1,000 à 1,400
»	5	6	4.270	1,971	2,299	1.17	*Id.* 500 à 1,200
»	6,7	6,7	490	490	»	»	*Id.* »
»	»	»	260	260	»	»	Palier. »
»	3	4	1.693	388	1.305	3.62	Courbes de 320 à 1.600
»	6	6,9	2,737	101	2.636	26,10	*Id.* 700 à 2,000
»	5,1	5,8	2,[illegible]78	766	2,012	2,62	*Id.* 600 à 6[illegible]0
»	9	9	334	334	»	»	*Id.* » »
»	4,1	5	653	»	653	»	*Id.* 320 à 480
»	7	»	187	187	»	»	*Id.* » »
»	8	»	3.834	429	3,405	7,93	*Id.* 600 à 1,000
»	6	»	1,159	25	1,134	45,36	*Id.* 708 à 1,100
2,7	»	»	681	643	38	0,06	*Id.* » »
»	»	»	38,032	12,543	25,489	»	

2° Tableau comparatif des courbes par leurs rayons, leur nombre et leur développement moyen.

NOMBRE DES COURBES.	RAYON.	DÉVELOPPEMENT TOTAL.	DÉVELOPPEMENT MOYEN.
10	2,000 à 1,100	6,932	693
10	1,000	5,159	516
4	900	4.111	1,025
2	800	1,455	726
6	700	3,904	651
1	650	550	550
2	600	1,600	800
1	500	583	585
1	480	276	276
2	320	919	460
39	»	25,484	651
37	Alignements.	12,543	340

On voit, d'après les tableaux qui précèdent, que jusqu'à 680 mètres de la frontière le chemin s'élève d'une manière continue à 188 mètres de hauteur, puis redescend de 1 mètre environ, et se trouve ainsi à 187 mètres au-dessus du point de départ, après un parcours total de 38,032 mètres. Sur cette longueur, les parties courbes occupent un développement deux fois et demie plus grand que celui des alignements. Cependant les fortes pentes et les courbes roides et multipliées n'ont pas suffi pour triompher des accidents du terrain ; il a fallu en outre traverser dix-sept fois la même rivière, la rejoindre, et percer dix-huit souterrains de 50 à 637 mètres de longueur. Parmi les ponts, celui de Dolhain est remarquable : il a 20 arcades de 10 mètres d'ouverture et de 17 à 18 mètres de hauteur.

Le chemin Rhénan, qui va de la frontière et de la petite ville d'Eupen à Cologne par Aix-la-Chapelle, Eschweiler et Düren, a été construit dans des conditions à peu près analogues à celles des chemins belges.

L'inclinaison maxima est de $0^{m},005$, et l'on n'en trouve pas trois

aussi fortes. L'une est une rampe de 162 mètres de long au sortir d'Aix. Les deux autres sont des pentes de 204 mètres chacune. On arrive à Aix par un plan incliné à machine fixe. Mais on aurait pu l'éviter, si l'on n'avait expressément tenu à passer par Aix, et si l'on était descendu en pente directe sur Düren.

Quant aux courbes, il n'y en a qu'une seule de 800 mètres de rayon après la station d'Eschweiler. Sur tout son parcours de 82 kilomètres, le chemin descend d'une manière presque continue, car il n'y a en tout que cinq rampes assez courtes. La pente moyenne est de $2^{mm},46$ seulement.

Entre la frontière et la Roër, le tracé est très-sinueux, à cause du grand détour fait pour passer à Aix, ville de première importance, et à Eschweiler, bassin houiller très-abondant. Après quoi on trouve des alignements dont les plus grands sont de 4,500 à 5,000 mètres; la longueur la plus ordinaire étant de 2,000 mètres. Plus loin, on en rencontre de 15,000 mètres et même de 25,000 mètres. Ces deux derniers, réunis par une courbe de 6,000 mètres de rayon, forment l'arrivée à Cologne. La plus grande difficulté que l'on ait eu à surmonter dans l'exécution de ce chemin a été de franchir le faîte qui sépare l'Erft du Rhin. On n'a pu y parvenir qu'en perçant un souterrain de 1,620 mètres dans des terrains difficiles aux environs de Kœnigsdorf.

Chemin de l'Ouest (Suisse). — Bien que le chemin de Genève à Versoix ne soit pas construit par la compagnie de l'Ouest (Suisse), nous comprendrons sous le nom de chemin de l'Ouest (Suisse) toute la ligne à établir ou établie dans les cantons de Genève et de Vaud, de Genève à la frontière du Valais, ainsi que celle déjà établie de Morges à Yvedun, avec prolongation dans l'avenir vers le nord de la Suisse.

Le chemin de Genève à Lausanne, portion importante de cette ligne construite sur la rive droite du lac Léman, suit le flanc d'un coteau assez ondulé. La partie que traverse le chemin de fer présente en général une pente douce vers le lac. Quelquefois cette pente devient insensible, et le terrain offre l'aspect d'un plateau ou même d'une vallée parallèle à celle du lac, séparé de celle-ci par un faîte longitudinal très-sensible. Dans tous les cas, le versant, qui descend

du Jura vers le Léman, est sillonné par des vallées, par des ravins et par de simples plis perpendiculaires au lac, nécessitant l'exécution de nombreux ouvrages pour l'écoulement des eaux.

La distance de Genève à Lausanne, mesurée suivant l'axe du chemin de fer, est de 60 kilomètres et demi. La partie entre Morges et Lausanne est en exploitation. Il sera probablement livré à l'exploitation au printemps de 1858.

La déclivité maximum, qui se présente d'ailleurs aussi bien en rampes qu'en pente, est de 1 centimètre. La somme des parties où la voie atteint cette déclivité est de 4,550 mètres, entre Versoix et Morges. Les courbes n'ont pas moins de 1,000 mètres de rayon.

Le seul ouvrage en maçonnerie de quelque importance que l'on rencontre sur ce chemin est le viaduc d'Allaman ou de la vallée de l'Aubonne, qui a 135 mètres de longueur totale sur une hauteur maximum de 24 mètres. Le cube des terrassements est de 22 mètres cubes seulement par mètre courant. Le chemin de Morges à Yverdun, exploité déjà depuis plusieurs années, a 42 kilomètres de longueur. Sa pente normale est de 1 centimètre. On n'y trouve aucun ouvrage d'art et aucun terrassement d'une très-grande importance, sauf le remblais aux abords de Lausanne.

On vient de livrer au public (juin 1857) un nouveau tronçon du chemin de l'Ouest (Suisse), d'environ 17 kilomètres, s'étendant de Villeneuve, petite ville à l'extrémité orientale du lac de Genève, jusqu'à Bex, limite des cantons de Vaud et du Valais. Ce chemin se prolongera, dans quelques années, vers le Simplon et l'Italie, et sera réuni au chemin de Villeneuve à Lausanne. Cette dernière ligne, étudiée sous la direction habile de M. Léon Lalanne, ingénieur en chef des ponts et chaussées et du chemin de l'Ouest (Suisse), sera établie sur une portion des rives du lac où les terrains sont très-précieux au travers d'un sol quelquefois ébouleux. Elle présentera donc de plus grandes difficultés de construction que la portion de chemin de Genève à Lausanne. Les pentes n'y dépassent cependant pas 1 centimètre. Plusieurs bâtiments de station et maisons de garde, en cours d'exécution sur le chemin de l'Ouest (Suisse), seront certainement les modèles les plus remarquables du style d'architecture *chalet* que l'on trouve sur les chemins de fer.

En résumé, on remarque que, sur le chemin de l'Ouest (Suisse), on a été conduit à adopter la pente de 1 centimètre comme pente normale, tandis que, sur la plupart de nos grandes lignes en France, cette pente n'a été admise qu'exceptionnellement, et concentrée sur une partie du parcours.

CHEMINS A FORTES PENTES.

Les chemins de fer que nous avons encore à passer en revue ne se présentent plus avec les mêmes caractères que ceux précédemment étudiés. Ils ne sont plus, comme ces derniers, souvent parallèles à des voies navigables; ils ont été, au contraire, généralement établis dans des localités où il n'existait pas de voies navigables naturelles, et où il était presque impossible d'en pratiquer d'artificielles. Leur tracé n'admet pas toujours l'emploi des machines locomotives dans toute la longueur de la ligne. Les moteurs varient avec l'inclinaison, qui dépasse quelquefois la limite sur laquelle les locomotives peuvent marcher avec avantage. Les plans inclinés à machines fixes et les plans automoteurs alternent avec les plans horizontaux. En quelques heures, dans certains cas, sur une même ligne (chemin de Hetton), on peut faire une étude complète des moteurs divers usités sur les railways.

Nous décrirons d'abord plusieurs chemins construits depuis longtemps, et dont la plupart ont pour objet principal le transport du charbon. Nous traiterons ensuite des chemins construits récemment, sur lesquels le service se fait exclusivement avec des locomotives.

Chemin de Birmingham à Gloucester. — Ce chemin, embranché sur celui de Londres à Birmingham, se réunit à Cheltenham au chemin de Cheltenham à Oxford.

Il est courbe sur presque toute sa longueur, qui est de 72,500 mètres. Les plus petites courbes, qui se trouvent aux points d'arrivée et de départ des stations principales, ont 1,600 mètres de rayon.

Les pentes varient entre 0 et 3,3 millièmes. A la sortie de la station de Birmingham, on trouve un plan incliné long de 3,200 mètres, dont l'inclinaison est de $0^{m},027$, et, à peu de distance du point

de jonction avec le chemin de Londres à Birmingham, une pente de 0m,012 sur 1,600 mètres de longueur.

Le plan incliné de Bromgrave est desservi par de puissantes machines américaines.

Chemin de Hetton. — Hetton est un petit village sur le terrain houiller de Newcastle, près duquel ont été ouverts plusieurs puits de mine servant à l'extraction d'une quantité considérable de charbon.

Toute la houille provenant de ces puits, dont la production est de 500,000 tonnes par an, est transportée par le chemin de fer au port de Sunderland à l'embouchure de la Wear. C'est uniquement dans le but de rendre profitable l'exploitation de la mine de Hetton que ce chemin a été établi par M. Stephenson, frère du célèbre ingénieur du chemin de Liverpool. Il a été posé à la surface du sol presque sans aucun terrassement. Si on en étudie le profil, on verra qu'à partir des mines, sur une longueur d'environ 1,500 mètres, le railway est à peu près de niveau ; il descend seulement de 7 mètres sur toute la longueur; mais, arrivé au pied d'une colline, il la gravit presque en ligne droite par trois plans inclinés successifs, puis il descend sur l'autre revers, du côté de Sunderland, par quatre plans automoteurs, séparés les uns des autres par des paliers de 300 à 400 mètres de longueur, et enfin, du pied de la colline, il est faiblement incliné jusqu'à Sunderland, où se trouvent de nouveaux plans automoteurs et les embarcadères.

Nous avons fait le voyage sur un waggon chargé de houille jusqu'à Sunderland. La première partie du chemin est rapidement parcourue au moyen de machines locomotives ; mais le mouvement se ralentit dès que les waggons sont attachés au câble remorqueur pour gravir la colline. Parvenu au point culminant, on est lancé vers Sunderland sur les plans automoteurs avec une vitesse qui s'accroît au point de devenir effrayante.

Sur chacun des paliers qui séparent les plans automoteurs, les convois sont détachés d'une corde pour être attachés à une autre. C'est vraiment chose merveilleuse que l'adresse et l'agilité des hommes qui changent les cordes. En quelques minutes, vous avez franchi les quatre plans automoteurs. Vous les quittez pour des-

cendre encore par l'impulsion de la gravité; mais alors le poids des chariots chargés de houille qui vous portent ne suffit plus pour faire monter les chariots vides en sens contraire : ceux-ci sont remorqués par une machine fixe au moyen d'une corde que les chariots pleins traînent derrière eux. Enfin, vous vous trouvez de nouveau sur un terrain à peu près horizontal. Ce n'est plus cependant une machine locomotive qui vous conduit à Sunderland : les waggons sont remorqués par une machine fixe, et les chariots sont attachés à deux cordes, l'une qui les traîne, l'autre qu'ils traînent; l'une qui les emmène chargés de houille, l'autre qui doit les ramener vides.

A Sunderland, le spectacle change. Le chemin de fer, au pied du plan automoteur qui conduit aux rives de la Wear, se subdivise en plusieurs branches aboutissant à autant de débarcadères. Trente ou quarante grands leviers, d'immenses bras en bois placés sur le bord de la Wear, saisissent les waggons, les déposent avec leurs charges sur les bâtiments qui couvrent la rivière, puis se relèvent majestueusement en reportant le waggon vide sur le chemin de fer. On les voit, ouvriers infatigables, continuellement s'abaisser et se redresser sans jamais s'arrêter, et ce qui paraît extraordinaire, c'est qu'aucune machine ne leur communique le mouvement. C'est le waggon seul qui, arrivé sur une petite plate-forme portant un chemin de fer et suspendu à l'extrémité du levier, entraîne ce levier et descend par son poids. Un contre-poids, caché par une charpente, produit ensuite le mouvement du levier en sens inverse et fait remonter le waggon vide.

Les convois parcourent la distance totale de Hetton à Sunderland en 1 heure 25 minutes, et chaque waggon se vide sur le bateau en 1 minute 1/2.

Chemin de Darlington à Stockton. — Les mines de houille desservies par le chemin de Hetton et les chemins voisins sont toutes ouvertes à peu près au milieu du terrain houiller de Newcastle, dans une partie où les couches gisent à une grande profondeur. Les puits nécessaires pour atteindre ces couches traversent des terrains dans lesquels filtrent de véritables fleuves souterrains; ils coûtent souvent des sommes énormes. Au sud et au nord du bassin, les

couches se relèvent de telle sorte, qu'on peut les exploiter près de leur affleurement à une distance du sol beaucoup moins considérable. Le charbon est de moins bonne qualité qu'auprès de Hetton, mais il coûte moins cher. C'est pour ouvrir un débouché à ces mines placées dans la partie méridionale du comté de Durham, que l'on a construit le chemin de Darlington à Stockton. Ce chemin, malgré le nom qu'il porte, commence à 19 kilomètres environ au nord-ouest de Darlington, mais il passe à une petite distance de Darlington, et près de Stockton il se subdivise en deux branches, l'une qui aboutit au port de Stockton, l'autre à celui de Middlesborough.

Sa longueur totale est de 40 kilomètres; l'embranchement de Middlesborough a 6 kilomètres 1/2 de longueur.

On remarque dans le voisinage des mines, quatre plans inclinés adossés deux à deux. Les deux premiers servent à franchir la colline d'Étherley, qui sépare la rivière Wear de la rivière Gaundles, l'une de ses branches; les deux autres sont établis sur le montant de Brusselton.

Des machines fixes, placées au sommet des deux collines, remontent les waggons.

Du monticule d'Étherley au monticule de Brusselton, dans la vallée qui les sépare, comme la distance est fort courte, le transport s'opère au moyen de chevaux; du pied du plan de Brusselton jusqu'au port de Middlesboroug, la pente descendant toujours vers la mer est très-variée, mais elle ne dépasse pas 96 milliènies. Les circuits n'ont quelquefois que 200 à 300 mètres de rayon.

Le transport s'effectue aujourd'hui, sur cette partie de la ligne, exclusivement avec des machines locomotives.

Lors de l'établissement du chemin de fer de Darlington, en 1822, on était loin de compter sur l'activité des relations auxquelles cette nouvelle voie de communication a donné naissance; aussi se borna-t-on à poser une seule voie. On ne s'inquiéta guère de rendre les pentes uniformes et d'adoucir les circuits, et on fit usage presque exclusivement de chevaux pour les transports sur les parties dont la pente n'atteignait pas 1 centième. En 1828, M. le chevalier Masclet n'indiquait dans un mémoire, publié par le *Journal du Génie*

civil, que deux machines locomotives employées sur le chemin de Darlington. Lorsque, un peu plus tard, MM. Dechen et d'Œinhausen, officiers des mines de Prusse, visitèrent le même chemin, la Compagnie possédait six machines. En 1833, nous en avons compté vingt-trois.

La circulation sur ce chemin continuant à augmenter, on a, depuis quelques années, percé deux souterrains afin de supprimer les plans inclinés, et l'on effectue le transport des mines jusqu'au port au moyen de locomotives.

Chemin de Cromford à Peakforest. — Ce chemin de fer est l'un des moins connus et des plus originaux de l'Angleterre; il a été établi au milieu d'une des parties les plus montueuses de ce pays, et passe sur la cime la plus élevée du Derbyshire.

On s'élève jusqu'au point culminant, d'un côté comme de l'autre, par une série de plans inclinés dont l'inclinaison atteint quelquefois 11 centimètres.

Une partie, qui est à peu près de niveau sur environ 20,110 mètres de longueur, est parcourue par des chevaux. Le chemin est alors tracé sur le revers de la montagne, et en suit toutes les sinuosités en faisant des circuits de 200 mètres de rayon; les waggons, pour tourner facilement dans les circuits, ont un essieu pour chaque roue.

Sur les plans inclinés du chemin de Cromford, on ne se sert pas de cordes, comme sur la plupart des autres chemins de fer; on a préféré par raison d'économie l'usage des chaînes; et, comme il leur arrive souvent de se rompre, les accidents sont fréquents.

C'est ce qui a déterminé l'autorité à défendre le transport des voyageurs sur cette ligne; quelques-uns cependant montent, au risque de leur vie, sur les waggons de marchandises.

Ce railway n'a coûté que 100,000 fr. par kilomètre. Destiné principalement au transport des marchandises de Manchester vers Nottingham, ou dans la direction contraire, il est de moitié moins long que la voie navigable. Cependant le tonnage y est presque nul, et les actions ont perdu toute leur valeur.

Anciens chemins de Saint-Étienne à Andrezieux et à Roanne. — Trois chemins de fer partent de Saint-Etienne et ont été établis

dans le but d'ouvrir un débouché au riche bassin houiller au centre duquel se trouve cette ville.

Celui de Saint-Etienne au petit port d'Andrezieux sur la Loire a été le premier construit en 1823. Celui de Saint-Étienne à Lyon a été commencé en 1826, et le chemin de Saint-Étienne à Roanne en 1828. Le charbon transporté sur le premier de ces railways à Andrezieux est embarqué sur la Loire pour être dirigé directement sur le Nivernais ou sur Paris, par les canaux de Briare et du Loing et la Seine ; mais la Loire n'est navigable, d'Andrezieux à Roanne, que pendant un petit nombre de jours chaque année, lors de ses grandes crues. Le chemin de Saint-Étienne à Roanne, parallèle sur une grande partie de sa longueur au cours de la Loire, a été établi pour suppléer à cette navigation imparfaite. Quant au chemin de Saint-Étienne à Lyon, il est destiné à transporter la masse énorme de charbon qui descend de Saint-Étienne ou de Rive-de-Gier vers le Rhône, et à desservir la circulation des voyageurs entre Saint-Étienne et Lyon.

Le tracé du chemin de Saint-Étienne à Andrezieux, déterminé lorsque l'on commençait à peine à s'occuper sérieusement de la construction de grandes lignes de chemins de fer, est très-défectueux, et ne mérite, par conséquent, en aucune manière de fixer notre attention. Il serait injuste cependant de ne pas reconnaître le service qu'a rendu au pays feu M. Beaunier, inspecteur divisionnaire des mines, qui en est l'auteur, en introduisant pour ainsi dire en France ce nouveau genre de voie de communication. Tout autre ingénieur, à l'époque où il construisit le chemin d'Andrezieux, fût tombé dans les mêmes fautes.

Le tracé du chemin de Saint-Étienne à Lyon présentait d'immenses difficultés. De Saint-Étienne à Rive-de-Gier la distance n'est que de 21,000 mètres, et la différence de niveau est d'environ 300 mètres. Il fallait traverser la chaîne qui sépare le bassin de la Loire de celui du Rhône, et descendre vers Rive-de-Gier par une vallée rapide sur les berges de laquelle il n'était pas aisé de se développer. De Rive-de-Gier au bord du Rhône, on était encore obligé de suivre une vallée très-roide et de plus fort étroite. Heureusement l'activité présumée de la circulation permettait, commandait même

de ne pas reculer devant la dépense pour obtenir la plus grande viabilité possible. On perça un souterrain de 1,500 mètres pour traverser la chaîne qui sépare Saint-Étienne de Rive-de-Gier, et, au moyen de remblais ou de tranchées, on régla la pente de manière à la rendre uniforme de Saint-Étienne à Rive-de-Gier. De Rive-de-Gier au Rhône, on suivait une vallée moins rapide, mais plus étroite. On se ménagea encore une pente uniforme en traversant les contre-forts par des souterrains ou des tranchées, et en se tenant à mi-côte par des remblais considérables. De Givors à Lyon, le chemin remonte le cours du Rhône en longeant ce fleuve avec une très-faible pente.

De Saint-Etienne à Rive-de-Gier, l'inclinaison est de 14 millimètres, de Rive-de-Gier à Givors de 6 millimètres 1/2, et de Givors à Lyon de 1/2 millimètre. Le rayon des courbes n'est jamais de moins de 500 mètres.

Avec un pareil tracé, rien de si facile que le trajet de Saint-Étienne à Lyon : les waggons descendent par l'impulsion seule de la gravité jusqu'à Givors; il suffit d'en modérer la vitesse à l'aide des freins. De Givors à Lyon, le transport s'effectue avec les machines locomotives; mais la descente des waggons ou voitures chargés est grevée des frais de remonte de la plus grande partie des véhicules à vide, et cette remonte devient très-dispendieuse, principalement entre Rive-de-Gier et Saint-Étienne. C'est un plan incliné de 21,000 mètres qu'il faut gravir. Sur une rampe aussi forte, l'emploi des locomotives et des chevaux est très-coûteux, et cependant l'inclinaison n'est pas assez grande pour admettre l'établissement d'appareils automoteurs. Le service des voyageurs serait d'ailleurs presque impraticable par ce dernier système et par celui des machines fixes.

On a reproché aux auteurs du tracé, MM. Brisson et Séguin, de n'avoir pas concentré la pente sur un plan incliné près de Saint-Étienne, pour descendre ensuite vers Rive-de-Gier par une pente plus douce, ou bien de n'avoir pas diminué l'inclinaison en se développant sur les berges de la vallée. Mais l'adoption du plan incliné eût entraîné les plus graves inconvénients pour le transport des voyageurs, et quiconque a visité le pays sait qu'il était à peu près

impossible de réduire la pente à une limite avantageuse pour le service des locomotives sans faire des circuits non moins préjudiciables à la viabilité.

Disons donc, avec le célèbre ingénieur Stephenson, que le tracé du chemin de Saint-Étienne est une œuvre qui fait honneur à MM. Brisson et Marc Séguin : il n'appartenait qu'à des hommes de génie de concevoir un travail aussi hardi.

Le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon n'est cependant pas à l'abri de la critique comme ouvrage d'art. Sans expérience alors sur les conditions de solidité que doivent remplir ces nouvelles voies de communication, on l'a construit trop légèrement. Il est à regretter aussi que l'on n'ait pas donné aux grands souterrains une largeur suffisante pour loger deux voies. Mais la Compagnie du Grand-Central, substituée aux anciennes Compagnies des chemins de Saint-Étienne à Lyon et de Saint-Étienne à Roanne, vient d'entreprendre des travaux qui auront pour résultat de les placer dans les conditions ordinaires de largeur de voie et de solidité des ouvrages.

Le chemin de fer de Saint-Étienne étant à deux voies sur la plus grande partie de son parcours, placé sur un terrain que l'on a payé fort cher (20,000 fr. l'hectare en moyenne), et comptant environ 4,000 mètres de souterrains sur une longueur totale de 57,000 mètres, a coûté 430,000 fr. environ le kilomètre.

Chemin de Saint-Étienne à Roanne. — Le chemin de Saint-Étienne à Roanne ne nous présente plus les pentes uniformes du chemin de Lyon à Saint-Étienne. A une longue portion presque entièrement de niveau succèdent plusieurs plans inclinés d'environ 5 centièmes de pente. Le service se fait avec des machines locomotives sur la partie de niveau, et avec des machines fixes sur les plans inclinés.

Devait-on, pour éviter les plans inclinés, exécuter de longs et coûteux souterrains? C'est ce dont il est permis de douter, quand on sait combien était faible le chiffre de la circulation sur ce chemin quelques années même après l'ouverture.

Les chemins de Saint-Etienne à Lyon, Saint-Étienne à Andrezieux et Roanne sont aujourd'hui (1857) reconstruits dans leur entier

sur le modèle des lignes les plus nouvelles, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Michel.

Chemin d'Alais à Beaucaire. — On a souvent décrit les chemins de Roanne à Saint-Étienne et de Saint-Étienne à Lyon : aussi sont-ils généralement connus. Il n'en est pas de même du chemin d'Alais à Beaucaire, qui, placé dans des circonstances analogues, ne présente peut-être pas moins d'intérêt.

Nous allons en étudier le tracé; nous le ferons précéder de celui du chemin des mines de la Grand'Combe à Alais, et nous y joindrons le tracé du chemin de Nîmes à Montpellier. Nous ne ferons, au reste, pour ainsi dire, que mentionner ce dernier, dont les détails ne nous offriraient rien de bien instructif.

Le chemin des mines de la Grand'Combe à Alais quitte les mines par un plan incliné en ligne droite, de 686 mètres de longueur. rachetant une hauteur de 56^{m},65 au moyen d'une pente graduée de haut en bas de la manière suivante :

Longueur,	100 mèt.	Pente,	0,095	Hauteur rachetée,	9,50
—	100 »	—	0,0875	—	8,75
—	100 »	—	0,085	—	8,50
—	86 »	—	0,0825	—	7,10
—	100 »	—	0,08	—	8,00
—	200 »	—	0,075	—	15,00
Longueur totale	686 mèt.	Pente moyenne	0,083	Hauteur totale rachetée	56,65

Puis, après un palier sur un viaduc de 40 mètres et une pente de 0,006 sur 178 mètres de longueur en courbe de 500 mètres de rayon, on arrive à un second plan incliné de 400 mètres ainsi gradué :

Longueur,	80 mèt.	Pente,	0,0525	Hauteur rachetée,	4,20
—	80 »	—	0,05	—	4,00
—	80 »	—	0,0475	—	3,80
—	80 »	—	0,045	—	3,60
—	80 »	—	0,0425	—	3,40
Longueur totale	400 mèt.	Pente moyenne	0,0475	Hauteur totale rachetée	19,00

Après quoi, le chemin passe des plans inclinés à l'allure ordi-

naire par quelques pentes fortes, mais assez courtes, qui sont les suivantes :

0,015	sur	384	mètres.
0,008		60	»
0,012		441	»
0,005		3660	»

Cette dernière est en partie dans un souterrain de 177 mètres de longueur.

Puis, jusqu'à Alais, le chemin continue à descendre, mais par une pente qui ne varie qu'entre 2 et 4 millimètres.

Quant aux courbes, elles sont sans cesse de faible rayon. On en compte :

1	de 175	mètres de rayon et de	80	mètres de longueur.
1	200	—	570	—
1	220	—	496	—
5	250	—	450	mètres de longueur environ.
1	275	—	230	—
1	300	—	400	—
2	350	—	400	mètres de longueur en moyenne.
1	425	—	521	—
1	450	—	470	—
10	500	—	200	—
3	750	—	300	—

Une seule enfin de 966 mètres sur 143 de développement.

Les alignements sont rares et peu étendus ; ils ont ordinairement 200 mètres environ, si ce n'est en approchant d'Alais, où l'on en trouve un de 716 mètres et un autre de 400 mètres.

Le chemin d'Alais à Beaucaire présente au début quelques courbes comparables aux précédentes, savoir :

1	courbe de	400	mètres de rayon sur	218	mètres de développement.
1	—	514	—	852	—
1	—	482	—	295	—

Puis elles deviennent de 1,000, 1,400 et 1,500 mètres, et sont entremêlées de quelques alignements jusqu'un peu avant le souterrain de Ners, où il s'en trouve une de 700 mètres de rayon et de

500 mètres de développement, et une de 546 mètres de rayon sur 654 mètres de développement. Jusque-là les pentes se sont maintenues entre 1 et 4 millimètres, et on n'a rencontré qu'un seul palier de 560 mètres.

Le souterrain de Ners, de 1,300 mètres de longueur, fait partie d'une pente de $2^{mm},5$. Elle est suivie d'un palier de 600 mètres à l'extrémité duquel se trouve le pont du Gardon. Ce pont a 222 mètres de longueur et 8 de hauteur au-dessus de l'étiage. Il est formé de 8 arches de 22 mètres d'ouverture. Après quoi la pente se reproduit toujours à peu près dans les mêmes limites jusques et au delà du village de Boncoiran, sous lequel le chemin passe par un petit tunnel. Puis vient une rampe de $3^{mm},5$ sur 3,600 mètres de longueur, à laquelle succède un palier de 2,500 mètres. Enfin, à l'entrée d'une rampe de 6 millimètres sur 8,200 mètres de longueur, on arrive au viaduc de la Braune, de 200 mètres de long, de 14 mètres de haut, et composé de 16 arches de 10 mètres d'ouverture environ.

Quant aux courbes, elles se sont, depuis Ners, maintenues généralement au-dessus de 1,000 mètres, à l'exception de trois, dont une après Boncoiran, de 700 mètres de rayon sur 242 de développement, et deux auprès du viaduc de la Braune, de 750 mètres de rayon sur 376 mètres de développement.

Au sommet de la rampe de 6 millimètres au mas de Ponge se trouve un palier de 200 mètres, puis on redescend sur Nîmes avec une rampe de 12 millimètres sur 8,100 mètres de longueur.

On passe dans le cours de cette rampe sur le viaduc de la Tour-Magne, de 18 mètres de hauteur; sous la Tour-Magne, au moyen d'un petit tunnel, sur le viaduc du Mas-du-Diable, et l'on arrive à un palier de 1,400 mètres sur lequel se fait le raccordement avec le chemin de Nîmes à Montpellier.

De Nîmes à Beaucaire le tracé se trouve en plan dans les conditions les plus communes; il présente, à la vérité, une suite presque continuelle de courbes, mais celles-ci n'ont jamais plus de 1,000 mètres de rayon.

Quant au profil, il offre d'abord. sur une longueur totale d'environ 10 kilomètres, quelques pentes de $3^{mm},5$, puis des rampes de

même inclinaison, le tout entremêlé de paliers de 800 à 1,000 mètres. A l'issue de la dernière rampe on se trouve en palier sur 5,210 mètres, puis on redescend sur Beaucaire par une pente continue de 7 millimètres sur 7,690 mètres de longueur. On rencontre dans le cours de cette pente, en fait de travaux d'art, 1° le viaduc du Mas-du-Pauvre-Ménage, de 125 mètres de long, de 12 mètres de haut, et de 9 arches de 9 mètres d'ouverture chacune.

2° Le souterrain de Beaucaire, de 500 mètres de longueur.

3° Enfin, le viaduc de Beaucaire, qui a 500 mètres de longueur, 11 mètres de hauteur, et qui est composé de 28 arches de 10 mètres d'ouverture chacune.

Ce chemin a été établi à simple voie sur toute sa longueur, qui est de 92 kilomètres. Il se tient le plus souvent au niveau du sol ; aussi, quoique traversant un pays fort accidenté, n'a-t-il donné lieu qu'à de faibles terrassements et à des travaux d'art peu considérables, si ce n'est le viaduc de Beaucaire.

Le chemin de Nîmes à Montpellier s'embranche, à une petite distance de Nîmes, sur celui d'Alais à Beaucaire au moyen d'une courbe de 1,000 mètres. Son tracé est des plus simples : il décrit un assez grand nombre de courbes, mais leurs rayons sont tous entre 1,500 et 1,000 mètres, et plutôt de 1,500 que de 1,000. On descend, à partir de Nîmes, jusqu'à 7 kilomètres de Montpellier, avec une pente presque continue, variant de 1 à 5 millimètres, puis on arrive à Montpellier par une rampe de 0^{m},002. Là, le chemin se raccorde avec celui de Montpellier à Cette, au moyen de trois courbes et contre-courbes successives de 600 mètres de rayon et de 500 à 700 mètres de développement. Ce sont les seules courbes de rayon au-dessous de 1,000 mètres que l'on puisse citer.

Quant aux travaux d'art, il n'y en a point de remarquables, à moins qu'on ne veuille considérer comme tel le viaduc de la Gallargues, composé de 28 arches, long de 200 mètres et haut seulement de 7.

L'embarcadère de Nîmes a cela de particulier, que le chemin y est établi sur les arcades à une hauteur de 10 mètres environ, et que les bureaux et salles d'attente sont situés au-dessous.

Chemin de Vienne à Trieste. — La grande ligne de Vienne à

Trieste, d'une longueur totale de 629k,60, dont 75k,53 empruntés au chemin de Vienne à Gloggnitz, rencontre, au cœur des Alpes noriques, de sérieuses difficultés. Le chemin de Gloggnitz, prolongé sur le Schotwien, arrive au pied du Sœmmering, le sommet le moins élevé des Alpes styriennes, celui que franchit la grande route de Vienne à Trieste en un point élevé de 1,014m,15 au-dessus du niveau de la mer, et de 649m,68 au-dessus de la vallée de la Mury. Il traverse cette chaîne de montagnes en la gravissant au moyen de pentes qui atteignent 25 millimètres et descend jusqu'à Gratz, capitale de la Styrie.

La discussion du projet pour la traversée du Sœmmering[1] a présenté les mêmes phases qu'en Bavière pour le passage du Fichtelgebirge, et elle a abouti au même résultat : la locomotive est restée maîtresse du terrain; on a pu d'ailleurs se renfermer dans les mêmes limites pour l'inclinaison, mais à condition de répartir les rampes par des inflexions plus brusques et plus multipliées encore. Le rayon de courbure descend jusqu'à 190 mètres; mais, sur rampe de 25 millimètres, il ne s'abaisse pas au-dessous de 285 mètres, et la longueur maxima de l'arc est de 385 mètres. Le chemin franchit la ligne de faîte à 885 mètres au-dessus du niveau de l'Adriatique, à 462 mètres au-dessus de la station de Gloggnitz, distante de 28k,8; et à 217 mètres au-dessus de la station de Murzzuschlag, éloignée de 12 kilomètres. Sur le versant nord, la hauteur rachetée par les 8 premiers kilomètres à peu près, c'est-à-dire de Gloggnitz à Payerbach, est seulement de 69m,6; la pente moyenne, à partir de ce point jusqu'au sommet, est de 19 millièmes; elle est de 18 millièmes sur le versant méridional; la répartition des inclinaisons varie de 10 à 25 millièmes.

C'est seulement sur le versant nord que la limite de 25 millimètres est atteinte, et sur une longueur totale de 4.676 mètres. La plus longue de ces rampes, de 25 millimètres, précédée seulement par un court palier de 650 mètres, a un développement de 3,170 mètres. Le tracé du Sœmmering est donc, sous ce rapport, plus simple que celui du Fichtelgebirge, qui présente une rampe continue de

[1] Extrait des *Annales des mines*, article de M. Couche

25 millimètres sur 5,400 mètres de long; mais aussi la hauteur totale à racheter est beaucoup plus grande au Sœmmering, le tracé est bien plus tourmenté en plan, et la puissance qu'on voulait obtenir des locomotives bien plus considérable. Il y avait là un ensemble de conditions difficiles à concilier et de nature à entraîner des modifications plus ou moins profondes dans quelques-unes des dispositions essentielles des machines[1].

Le prolongement de la grande ligne de Vienne à Trieste présentait au delà de Gratz des difficultés qu'on a réussi à vaincre, dit M. Couche, comme on l'espérait, avec un tracé bien plus favorable qu'au Sœmmering. Les rampes ne dépassent pas $16^{mm},5$.

Les conditions sont plus satisfaisantes encore pour le difficile accès de la ville de Trieste. Les rampes n'excèdent pas 12 millimètres. Le chemin part du nouveau lazaret; l'emplacement de la gare, parfaitement situé d'ailleurs, est conquis à grands frais, d'un côté sur la montagne, et de l'autre sur la mer par les remblais. La ligne suit la côte, passe à Boutorelles, Santa-Croce, et arrive à Nebresina, où doit se détacher la ligne de Trieste à Venise. Cette section, de $15^{k},8$, dont les travaux sont poussés avec une très-grande activité, rachète une hauteur de $122^{m},30$, dont $418^{m},80$ sur $10^{k},7$. Les courbes sont très-multipliées; leur nombre s'élève à soixante-six, et leur développement à $6^{k},2$, c'est-à-dire aux deux cinquièmes de la longueur de la section; mais trois seulement de ces courbes atteignent la limite de 291 mètres, et toutes les autres ont des rayons beaucoup plus grands.

Le tracé primitivement adopté de Nebresina à Venise est remis en question, malgré l'importance attachée par le gouvernement au prompt achèvement de cette ligne.

Nous avons indiqué page 116 les causes qui ont fait écarter ce tracé.

Les courbes ont en général 285 mètres de rayon; on en trouve une au passage de Sœmmering, qui n'a que 190 mètres.

[1] On avait adopté, en 1844, un projet qui limitait les inclinaisons à 0,01975 sur le versant nord [2] et à 0,01998 sur le versant sud. Le tracé amendé est plus court de 2 kilomètres environ ; il a surtout notablement simplifié les travaux d'établissement.

[2] *Notice sur les chemins de fer allemands en 1844*, par M. Baumgarten.

Le service se fait uniquement avec le matériel américain propre au service des chemins à petites courbes, et avec un matériel spécial que nous décrirons.

M. Lechatelier pense qu'on aurait pu, en exécutant un tunnel, réduire les pentes pour les passages du Sœmmering à 10 millimètres par mètre, et qu'on a sacrifié, sans motifs bien décisifs, les intérêts de l'exploitation à l'économie des frais de premier établissement.

Il fait une observation semblable pour le chemin de Stuttgard à Ulm, où l'on aurait pu réduire de 22 à 10 millièmes la pente d'un plan incliné.

Le chemin de Sœmmering se trouvera prochainement en concurrence avec le chemin François-Joseph prolongé, qui, partant de Caniza, rejoindra Trieste sans avoir à franchir le faîte élevé, de sorte que Vienne se trouvera en communication avec Trieste par un chemin d'à peu près même longueur que celui de Sœmmering, mais beaucoup plus économique au point de vue de l'exploitation aussi bien qu'à celui de la construction.

Chemins saxo-bavarois : section de Neuenmarkt à Marktschorgast[1]. — De Nuremberg jusqu'au Neuenmarkt, c'est-à-dire jusqu'au pied du Fichtelgebirge, montagne qui sépare les bassins du Main et de la Saale (un des affluents de l'Elbe), ce chemin ne présente, sauf des rampes très-courtes, que des inclinaisons de 5 millimètres au plus, et, à l'exception des stations, que des courbes de 292 mètres de rayon au moins.

Mais le terrain présente, à partir de Neuenmarkt jusqu'à la frontière saxonne, des difficultés telles, qu'on crut devoir s'arrêter d'abord à l'idée d'un chemin desservi par des chevaux. On ne tarda pas toutefois à reconnaître que cette solution modeste ne répondait nullement, même d'après les évaluations les plus modérées, aux exigences du trafic; d'ailleurs, on n'eût pas évité, même à ce prix, des travaux très-coûteux et hors de proportion avec le résultat obtenu. On se décida donc à étudier le tracé au point de vue de l'application du matériel américain.

[1] Extrait de la 2e livraison de 1852 des *Annales des mines*, mémoire de M. Couche

Parmi les diverses directions étudiées dans l'avant-projet, une seule, la vallée du Streitmülh (ou Schwarzbach), pouvait se prêter à l'établissement d'un chemin de fer. Tout le terrain occupé par cette vallée, d'une largeur très-variable, fut levé par courbes horizontales, et ce travail préliminaire abrégea et facilita singulièrement les études de détail.

Plus on avançait dans cet examen, plus les obstacles semblaient grandir; un moment même le mode de traction fut de nouveau mis en question, et on revint, en désespoir de cause, à l'idée des plans inclinés à câbles.

Une circonstance particulière pouvait d'ailleurs justifier, jusqu'à un certain point, cette solution, quand même elle n'eût pas paru la seule possible. On avait constaté, sur les hauteurs qui dominent Rohresreuth, l'existence d'une source probablement assez abondante pour permettre l'établissement d'une balance d'eau, combinaison déjà proposée par l'ingénieur Robinson pour le chemin de Pottville à Danville (Etats-Unis); mais ce projet fut bientôt abandonné à son tour.

Indépendamment des inconvénients inséparables de la remorque des trains au moyen d'un câble, des doutes s'élevaient sur la constance du débit de la source qui devait alimenter la balance.

Ramenés de nouveau en présence de la locomotive comme seule solution acceptable, déterminés d'ailleurs, par une longue expérience du système américain et de ses inconvénients, à n'imposer au matériel aucune concession de ce genre, les ingénieurs bavarois ont déduit de la discussion des exemples connus les limites d'inclinaison et de courbures compatibles avec ces conditions, et dirigé leur tracé en conséquence.

La station de Neuenmarkt est située sur un palier de 3,304 mètres, et à 352^{m},24 au-dessus du niveau de la Méditerranée. Le chemin présente, à partir de ce point, des rampes de 14 millimètres, 25 millimètres, 24^{mm},6 et 2^{mm},5, sur des longueurs respectives de 1,664, 2,498, 1,780 et 1,129 mètres, et atteint le palier de la station de Marktschorgast à la cote de 510 mètres. Une hauteur de 157^{m},76 est donc rachetée sur un développement de 7,071 mètres (inclinaison moyenne, 22^{mm},3).

Les rayons de courbure varient entre 1,168 et 292 mètres; cette dernière limite n'est atteinte qu'une seule fois, à l'entrée de la station de Marktschorgast, et sur 194 mètres de longueur; en rampe, le rayon minimum est de 438 mètres.

Quant au profil, ce n'est pas par l'inclinaison, si inusitée qu'elle soit, c'est par la longueur jusque-là sans exemple de la rampe qu'il est surtout remarquable. Des rampes de 25 millimètres et au delà étaient, depuis plusieurs années déjà, desservies par des locomotives, mais leur longueur ne dépassait pas 3 kilomètres, $3^{k},5$ au plus. Sur une rampe deux fois plus longue, les conditions pouvaient être gravement modifiées. Suffirait-il encore d'aborder le pied de la rampe avec une machine bien préparée, la chaudière bien en vapeur, le foyer bien rempli, le niveau d'eau très-élevé? Réussirait-on constamment à maintenir sur une pareille étendue la pression au degré nécessaire, à se mettre en garde contre les chances de ralentissement et d'arrêt, devenues bien plus graves en raison du développement de la rampe? La régularité du service serait-elle assurée en dépit de l'état des rails, de la direction et de l'intensité du vent? Un succès accidentel, un succès d'expérience, n'était pas douteux; mais il y avait une véritable hardiesse à compter sur le succès de tous les jours.

L'établissement du chemin entre Neuenmarkt et Marktschorgast a exigé des travaux également remarquables par leur importance, par quelques particularités de construction, et par leur caractère parfaitement en harmonie avec la nature sévère et grandiose de cette contrée.

De Neuenmarkt jusqu'au pied de la montagne, c'est-à-dire sur une longueur de $1^{k},66$, le tracé suit à peu près la pente du sol; il entre en tranchée à 2 kilomètres au delà seulement sur 290 mètres de longueur et $8^{m},80$ de profondeur, mais dans un terrain de grauwacke et de schiste argileux très-dur qui a exigé l'emploi presque continuel de la poudre. Le chemin se maintient à mi-côte entre les kilomètres 4 et 5, sauf la traversée de trois ravins très-profonds; puis il entre en tranchée d'une faible longueur (292 mètres), mais sur $27^{m},70$, $12^{m},39$ et $16^{m},60$ de profondeur maximum, mesurée respectivement à partir des arêtes des talus et sur l'axe du

chemin. L'ouverture de cette tranchée à travers un terrain de grauwacke et de schistes amphiboliques a entraîné de très-grandes dépenses de main-d'œuvre et de poudre. A partir de là jusqu'au palier de Marktschorgast, c'est-à-dire sur une longueur de 2 kilomètres à peu près, les tranchées et les remblais se succèdent à des intervalles très-rapprochés ; mais cependant, à cause des profondes coupures et des pentes abruptes du terrain, les hauteurs de déblai et de remblai mesurées sur l'axe atteignent encore respectivement 7m,7 et 16 mètres.

La grande disproportion qui existe entre les cubes de déblai et de remblai, et la nécessité de réduire celui-ci au minimum (les emprunts exigeant l'ouverture de véritables carrières d'une exploitation dispendieuse), ont conduit à adopter un mode particulier pour la formation des remblais. Ce sont des ouvrages mixtes, participant à la fois des remblais proprement dits et des viaducs. Ils se composent d'un noyau formé des déblais meubles et en petits fragments, flanqué de deux murs en pierres sèches construits avec les fragments plus volumineux provenant aussi des tranchées, et maintenus eux-mêmes par deux murs de soutènement maçonnés en gros blocs de schiste micacé provenant de deux grandes carrières situées près de Marktschorgast. Tout ce massif est profondément enraciné dans le sol, et repose sur le roc vif taillé en gradins. Les talus ne sont pas plans ; les parements des murs de soutènement sont des surfaces cylindriques ; la coupe verticale du parement extérieur est un arc de cercle de 41 mètres de rayon, dont le centre est à 9m,64 au-dessus de la crête du remblai. L'inclinaison du talus sur la verticale est de 14° 30' au sommet, et atteint 45° à 18m,40 au-dessous du niveau des rails ; à partir de cette limite, quand la hauteur du remblai la dépasse, la tangente en ce point est substituée au prolongement de l'arc, pour éviter un empatement exagéré. Il va sans dire que cette disposition a été adoptée pour les parties à mi-côte comme pour les remblais complets.

Vers la partie supérieure, ce profil se rapproche de la logarithmique qui conduit, pour toutes les sections horizontales, à l'égalité de charge par unité de surface. Il s'écarte peu de la figure d'équilibre, pour le *glissement*, d'un massif homogène et doué de cohé-

sion. Avec les talus plans, la stabilité d'un semblable massif décroît du haut vers le bas; pour qu'elle soit suffisante à la base, il faut qu'elle présente un excès de plus en plus grand vers le sommet.

La stabilité générale est donc, toujours en admettant l'assimilation à un massif homogène, sensiblement la même qu'avec des talus rectilignes ayant pour inclinaison celle de l'élément inférieur de l'arc; et la masse des ouvrages, ainsi que la largeur de terrains qu'ils occupent, est notablement réduite. Pour une hauteur de 18^m,40 par exemple, la largeur de l'emprise et la section du massif sont inférieures respectivement de 16 mètres et de 185^{mq},36 à celles qu'exigerait un simple remblai, avec talus plans à 45°; et la largeur en couronne étant de 9^m,60, la largeur à la base et la masse de l'ouvrage sont réduites, l'une de 35, et l'autre de 36 pour 100.

Indépendamment de toute appréciation théorique, de toute hypothèse sur la forme des surfaces de rupture virtuelle, ce profil est justifié, au moins dans sa disposition générale, par l'observation même des phénomènes que présentent souvent les remblais à talus plans et revêtus. Ces talus deviennent convexes, se roidissent beaucoup à la base, et cet accroissement d'inclinaison, joint à la dislocation des matériaux du revêtement, compromet la stabilité de toute la masse.

Un profil concave, avec une flèche notable, et un élément supérieur très-peu incliné sur la verticale ne peut d'ailleurs s'appliquer qu'à des talus revêtus, ou tout au moins consolidés par des moyens artificiels : il suppose l'existence de la cohésion, qui est presque nulle dans les remblais naissants; et, fût-elle rétablie, elle ne résisterait pas longtemps à l'action de la pluie, des gelées, etc., action dont le profil théorique ne tient pas compte, et qui, sans altérer la figure d'équilibre, entraînerait l'éboulement graduel des talus[1]. Une grande cohésion superficielle est du reste souvent indispensable, même pour les talus plans et beaucoup moins roides que le talus naturel; de sorte qu'une forme voisine de la figure d'équilibre

[1] On sait que l'effet des dégradations de surfaces est précisément de mettre peu à peu en évidence la figure d'équilibre dans les remblais à talus rectilignes; ce phénomène a été observé depuis longtemps dans plusieurs tranchées.

pourrait sans doute être appliquée assez fréquemment, sans aggraver beaucoup les dépenses de consolidation ou d'asséchement, et dès lors avec une économie très-notable.

L'épaisseur de maçonnerie, tant en pierre sèche qu'en pierre de taille, est, au sommet, de 2 mètres sur chaque flanc; elle augmente graduellement avec la profondeur. Les joints sont normaux aux parements. Ces murs sont couronnés par de gros blocs de grès formant un parapet très-massif de $0^{m},51$ de haut et de $1^{m},75$ d'épaisseur. De nombreuses gargouilles débouchant sur les flancs assurent l'asséchement du noyau central.

Le cube total s'élève à 49,250 mètres pour la maçonnerie en pierre sèche, et à 40,390 mètres pour la maçonnerie de mortier; soit en tout 89,640 mètres pour les 7 kilomètres 71 mètres, ou en moyenne $12^{m3},6$ par mètre courant.

Le plus remarquable des ouvrages de ce genre est celui qui a été exécuté pour le passage du Schützengraben, que le chemin de fer traverse à une hauteur de 32 mètres. L'épaisseur des murs, à la base, atteint 12 mètres, et celle de tout le massif, mesuré horizontalement, 52 mètres.

Le chemin saxo-bavarois est l'œuvre de l'ingénieur Kemtz.

Chemin de Brunswick à Harzbourg. — Ce chemin part de Brunswick et se développe, pendant une grande partie de son parcours, dans la plaine qui s'étend depuis le pied des montagnes du Harz jusqu'au littoral de la mer du Nord et de la mer Baltique; son profil ne présente des inclinaisons supérieures à 5 millièmes qu'aux abords de la station de Wissembourg à la limite de la plaine. A partir de cette station, le chemin gravit les premières pentes de la montagne en se tenant moyennement au niveau du sol; son inclinaison croît successivement jusqu'à $27^{mm},7$, limite qu'elle atteint à la station de Harzbourg, placée à l'entrée d'une gorge profonde, à 8 kilomètres environ du sommet de Broken. Le tableau ci-joint donne la longueur et l'inclinaison des rampes qui se succèdent depuis Wissembourg jusqu'à la station de Harzbourg.

LONGUEURS.	INCLINAISONS.	
Mètres.	Millimètres.	
141,5	0,2	par mètre.
1234,8	9,7	
2073,6	10,0	
1141,2	13,0	
1562,4	13,1	Moyenne des inclinaisons 12 ^{m},78.
1000,6	17,2	
228,2	10,2	
529,5	27,7	
136,9	5,0	Stations.
8048,7		

Pendant les deux premières années d'exploitation, les locomotives se sont arrêtées à Wissembourg ; les waggons étaient traînés par des chevaux jusqu'à Harzbourg. On ne tarda pas à reconnaître que ce mode d'exploitation n'était pas suffisant pour satisfaire à tous les besoins de la circulation, et, après quelques essais préliminaires faits avec les machines ordinaires, on commanda, en mai 1843, à Stephenson, deux machines à 6 roues couplées.

Depuis cette époque, ces machines font un service journalier assez actif et fonctionnent très-bien.

Chemin de Stuttgard à Ulm. — Ce chemin de fer, qui est établi à une seule voie sur toute son étendue, traverse les Alpes wurtembergeoises en rampe de $\frac{1}{45}$ (22 millimètres) sur un parcours de 6 à 7 kilomètres, avec des courbes de 260 mètres de rayon. On gravit cette rampe en se dirigeant de Stuttgard à Ulm. Dans l'autre direction, sur le versant opposé, en venant d'Ulm à Stuttgard, on s'élève, de la gare d'Ulm au sommet de la montagne, par des rampes de 14 à 15 millimètres par mètre.

Les trains de voyageurs partent de Stuttgard avec une machine américaine. Au pied de la rampe, on ajoute une *machine à marchandises à 6 roues couplées*. Cette machine a ses roues en fonte pleine ; elle pèse 33 tonnes.

Le diamètre des roues est de 1^{m},160.

Le diamètre des cylindres, 0^{m},460.

La course des cylindres, 0^{m},660.

Les cylindres sont extérieurs.

Leur écartement d'axe en axe = 2^m,080.

La distance des roues extrêmes d'axe en axe est de 3^m,200.

Ces machines passent sans trop de difficultés dans des courbes de 260 mètres de rayon. Cependant l'usure des bandages paraît y être considérable.

Sur la rampe de 22 millimètres, ces machines remorquent un poids *brut* de 130 tonnes, avec une vitesse de 17 à 18 kilomètres à l'heure.

Pour gravir les rampes de 14 à 15 millimètres, on se sert de deux machines ordinaires, soit mixtes, soit américaines; la vitesse est d'environ 25 kilomètres à l'heure. La descente de la pente de 22 millièmes se fait sans vapeur, les freins serrés; on marche régulièrement et à une très-faible vitesse.

Le chemin de Stuttgard à Ulm, ainsi que les autres chemins du réseau wurtembergeois, fait honneur au talent de M. l'ingénieur en chef Carl Etzel, ainsi qu'à celui de son digne collaborateur, M. Klein.

Central suisse. — Le chemin de fer Central suisse se compose de deux grandes artères, dont l'une relie Bâle à Lucerne, en passant par Liestal, Olten, Arbourg et Sursée, et l'autre Arau à Bienne, en passant par Olten, Aarbourg, Herzogenbuchsée et Soleure. Une autre ligne, partant d'Herzogenbuchsée, se dirige sur Berne, pour de là rejoindre Thun d'un côté, et le chemin de Genève à Berne de l'autre.

Ces deux tracés mettent le chemin Central suisse en communication directe, au nord, avec les chemins de France du pays Badois, et les chemins de fer allemands qui débouchent sur le lac de Constance; à l'est et au midi, avec le centre de la Suisse, les cantons de Vaud, de Genève, du Valais, et l'Italie.

Le tracé adopté par les ingénieurs de la Compagnie, à la tête desquels se trouve M. C. Etzel, n'a rencontré de très-sérieuses difficultés que dans la traversée du Jura, entre Sissach et Olten; de Bâle à Sissach, le maximum des pentes est de 1 centimètre. Au delà de Sissach, le chemin s'élève le long du flanc de la montagne du Hauenstein, en franchissant avec beaucoup de hardiesse de pro-

fonds ravins, coupant en souterrains deux contre-forts près du village de Buckten, traversant le village de Lauffelfingen, et conservant jusqu'au point culminant de son profil, sur une longueur de 9,300 mètres, une rampe uniforme de 20^{mm},8, sauf un palier de 300 mètres situé vers son milieu, et réservé pour la station de Somerau. Au sommet de ce plan incliné, se trouve la station de Lauffelfingen, qui précède l'entrée des souterrains du Hauenstein; ce tunnel, dont la longueur est de 2,500 mètres, descend vers la vallée de l'Aare, en conservant dans toute son étendue une pente de 26^{mm},4. C'est en débouchant du tunnel, sur le versant oriental du Jura, que le voyageur venant de France aperçoit pour la première fois, et peut, si le temps est favorable, embrasser dans leur ensemble les hautes montagnes de la Suisse centrale, depuis les pics neigeux de l'Oberland bernois jusqu'aux sommets dentelés du canton d'Appenzel.

Au delà du tunnel, la ligne descend avec une pente de 25 millièmes sur 3,600 mètres jusqu'à la rivière l'Aare, qu'elle traverse sur un beau pont, puis gagne par un palier la station centrale d'Olten.

L'embranchement qui conduit d'Olten à Arau est presque horizontal. Sur cette section, il a pour ainsi dire suffi de poser le ballast sur le sol sans autre travail préparatoire. Le chemin touche Aarau, en traversant en tunnel la montagne sur laquelle cette ville est assise, et doit se souder sur ce point au chemin du Nord-Est.

La ligne principale, partant d'Olten, poursuit sa route vers Lucerne en remontant, par des pentes douces, la vallée de l'Aare jusque vers la station de Sursée, où elle s'infléchit à l'est, passe au bord du petit lac de Sempach, et dessert la station de ce nom, qui franchit un faîte dont le point culminant est près de Rothemburg.

Depuis Olten, l'inclinaison ne dépasse pas 10 millièmes; mais, à partir de ce point, la ligne descend vers la vallée de l'Emme sur une pente de 16 millimètres, ayant 7,600 mètres de longueur, franchit la petite Emme sur un pont de fer de 105 mètres d'ouverture à quatre travées, et s'arrête sur le pont de Lucerne, à côté du débarcadère des bateaux à vapeur qui naviguent sur le beau lac des quatre cantons.

Les autres parties du tracé du réseau Central suisse n'offrent aucun autre point où l'on ait rencontré des difficultés un peu sérieuses, si ce n'est le passage de la Sommerald et de la grande Emme à Burgdoff, et l'entrée de Berne, où le chemin franchit l'Aare sur un pont en fer de 45 mètres de hauteur et de 160 mètres d'ouverture en trois travées.

En plan, ce tracé est heureusement combiné en ce qui concerne les alignements droits et les courbes, qui sont en proportion de 70 pour 100 de longueur totale pour les premiers, et de 30 pour 100 pour les autres.

Le rayon des courbes en pleine voie est généralement au-dessus de 500 mètres, et ne s'abaisse à 360 mètres que sur deux points, l'un vers le Hauenstein, l'autre à Rothenburg, entre Sursée et Lucerne.

Le tracé du chemin Central suisse se trouve dans des conditions favorables, en ce sens que, le mouvement ayant lieu surtout de la France vers la Suisse, les trains chargés n'auront à gravir que des rampes qui ne dépassent pas 20 millièmes, celles de 25 et 26 millièmes n'étant remontées que par des waggons vides ou faiblement chargés.

Les principaux ouvrages d'art du chemin Central suisse sont au nombre de dix-neuf, comprenant :

1° Quatre ponts ou viaducs en pierre ;

2° Onze ponts ou viaducs en fer ;

3° Quatre tunnels d'une largeur totale de 2,900 mètres.

Les ouvrages d'art en pierre sont très-élégants et construits avec beaucoup de soin. Nous citerons entre autres le viaduc de Rumlingen, composé de huit arches en plein cintre dont les voûtes ont 0^{m},90 d'épaisseur à la clef et 13^{m},50 de diamètre; les piles ont 13 mètres de hauteur et 3 mètres d'épaisseur.

Les ponts en fer de toute grandeur sont fort nombreux; ils ont été presque tous exécutés en régie dans les ateliers de la Compagnie.

Nous décrirons leurs différents modes de construction plus loin, en traitant des travaux d'art. Nous nous bornerons à faire mention ici des ponts qui sont au delà de 10 mètres de portée entre les cu-

lées. Ceux-là ont été tous exécutés avec du fer à treillis, suivant le système de Howe.

Le plus remarquable est celui de l'Aare, près de Berne : établi pour livrer passage au chemin de fer et à une route, il est composé de deux grandes poutres en treillis, renfermant, dans l'espace réservé entre elles, un châssis de voiture au-dessus duquel sont établies les deux voies du chemin de fer.

Le platelage de la voie charretière et celui des rails sont supportés, le premier par la partie inférieure, le second par la partie supérieure des cadres en tôle, formant, entre toises et armatures, des grandes poutres en treillis.

Les dimensions principales de ce pont double sont les suivantes :

Hauteur des poutres.	5m,899
Longueur du pont entre les culées.	164m,400
Ouverture des deux travées extrêmes. . . .	50m,000
Ouverture de la travée du milieu.	57m,200
Longueur totale des poutres métalliques. . .	168m,200
Hauteur des voies au-dessus de l'étiage de la rivière.	43m,500

Nous indiquerons aussi comme dignes d'attention les ponts de la Birss et de la Frenke, le premier près de Bâle, le second près de Liestall.

Comme exception aux types précédemment décrits, nous citerons le pont sur l'Aare, près d'Olten.

Ce pont, dont le tablier fait partie d'un long plan incliné à 18 millimètres par mètre, est composé de trois travées de 31m,50 d'ouverture chacune ; chaque travée est fournie d'arcs de cercle en tôle soutenant les poutres du tablier par l'intermédiaire de barres verticales reliées entre elles, dans leur milieu, par une suite d'entre-toises.

Les trois arches ont leurs naissances placées sur même plan horizontal ; la différence de hauteur est rachetée par la différence existant entre les flèches, qui ont respectivement pour hauteur 5m,40, 4m,80 et 4m,20.

On a enfin, au chemin Central suisse, employé, pour certains passages par-dessus, un système de poutres en bois armées de tirants en fer.

Parmi les souterrains, il faut citer celui du Hauenstein, percé dans la formation jurassique. Rencontrant une feuille très-aquifère, il a présenté de grandes difficultés en exécution.

Nous devons enfin signaler la bonne disposition et la gracieuse architecture des bâtiments de stations du chemin de fer Central suisse, dont les plans ont été publiés dans le *Portefeuille de l'ingénieur*.

Une faute grave, à notre avis, qui a été commise dans l'exécution de ce chemin de fer, a été de n'acheter, sur une partie du parcours, les terrains, et de n'exécuter les travaux de terrassement et même les travaux d'art que pour une seule voie.

Chemin du Nord-Est. — Le chemin de fer du Nord-Est suisse devrait être classé parmi les chemins à pente moyenne. Si nous le décrivons à la suite du chemin de fer Central suisse, qui est un chemin à pentes fortes, et avant celui du Sud-Est, où les pentes sont encore plus rapides que sur le chemin Central, c'est afin qu'on puisse se rendre compte d'un seul coup d'œil des conditions d'exécution des chemins du réseau suisse septentrional. Le chemin du Nord-Est peut d'ailleurs, en se plaçant à ce point de vue, être considéré comme une dépendance du chemin Central. Ce chemin se raccorde au chemin Central suisse à Wœschnau, près d'Aarau, passe à Baden, Zurich, d'où il rebrousse pour gagner Winterthur, puis Frauenfeld et Romanshorn, sur le lac de Constance.

Il met en communication, au moyen de ce réseau, qui comprend une étendue de 166 kilomètres, le Rhin, le lac de Constance, le canton d'Argovie et celui de Zurich avec les chemins de fer allemands, les chemins de fer français, le centre de la Suisse et l'Italie.

Entre Zurich et Winterthur, se détache un embranchement qui suit la vallée de la Glatthal pour desservir Greifensée et Uster. De Winterthur, part un autre embranchement qui se dirige sur Schaffhouse; en ce même point, se soude le chemin de fer du Sud-Est.

Enfin un troisième embranchement reliera Brug à Koblentz sur le Rhin.

Ce réseau se compose de la fusion des lignes de Zurich-Baden et Zurich-Bodensée. Les travaux de la première ligne ont été commencés en 1844, sous la direction de M. l'inspecteur général Négrelli, et terminés en 1847; ce n'est qu'en 1853 qu'on a procédé à l'exécution de la section de Winterthur à Romanshorn, achevée en 1855; les sections de Baden-Brug et Zurich-Winterthur n'ont été terminées qu'en 1855 et 1856. Les travaux de ces dernières sections ont été dirigés par M. Beck, ingénieur en chef.

Le tracé adopté pour l'exécution de ce chemin présente des différences très-marquées quant aux conditions de pentes et de courbes qui ont été appliquées. Ainsi la section de Wœschnau à Baden, et, plus encore, celle de Zurich à Frauenfeld, offrent des alternatives de pentes et de rampes dont l'inclinaison atteint jusqu'à 8 et 12 millièmes.

La section de Frauenfeld à Romanshorn, au contraire, est tracée avec des pentes généralement très-douces, n'atteignant 8,7 millièmes qu'en quelques points et sur de très-faibles longueurs.

Les rayons des courbes se tiennent en grande partie entre 600 et 800 mètres; cependant ils descendent à 500 mètres et même à 350 mètres aux passages des faîtes et des vallées profondes.

Il résulte de ce tracé que pour passer des sections de Wœschnau à Baden et de Zurich à Winterthur sur celle de Frauenfeld à Romanshorn, ou *vice versa*, la composition et la vitesse des trains devront subir d'importantes modifications si l'on veut tirer le meilleur parti possible de la force motrice. C'est une condition défavorable.

On trouve sur le chemin Nord-Est, comme sur le chemin Central, un grand nombre de ponts en fer; mais il n'en est aucun qui soit digne d'une étude particulière, si ce n'est peut-être le pont de la Limmat et le viaduc qui l'accompagne.

Chemin du Sud-Est. — Le chemin du Sud-Est part de Winterthur et passe à Saint-Gall pour aboutir aujourd'hui à Rorschach. Il sera continué, vers la gauche, sur Laidau (Bavière); vers la droite, sur Coire et la vallée du Rhin, qu'il remontera pour traverser les Alpes par le col de Sargans. Une autre ligne partant de Sargans se dirigera, par le Wallen-Sec, sur Rapperschwyl et Zurich.

La construction de ce réseau a commencé en 1853, sous les ordres de M. Etzel, comme directeur général des travaux, et de M. Hartman, comme ingénieur en chef. Notre carte indique les portions livrées à l'exploitation.

Entre Winterthur et Saint-Gall, sauf le passage de petites vallées secondaires qui produisent des contre-pentes, la ligne est toujours en rampe dont l'inclinaison varie entre 0 et 10 pour 100. Ces deux points, éloignés de 58 kilomètres, sont séparés par une différence de niveau de 240 mètres, ce qui donnerait une pente moyenne de $0^m,0184$; mais les paliers et les approches des stations on fait porter les pentes à 20 pour 100.

Les tranchées et remblais, qui, sur ce chemin, atteignent $15^m,20$ et même 30 mètres d'élévation, ont subi des tassements considérables. Des portions se sont éboulées, et la présence de sources sous le remblai, ou dans le remblai même, ont, sur certains points, occasionné de grands éboulements.

Le tracé des autres portions du chemin de fer du Sud-Est n'est pas encore arrêté. Le passage des Alpes parait devoir présenter de très-grandes difficultés.

On rencontre, sur le chemin du Sud-Est, plusieurs traversées de vallées très-remarquables par la hardiesse de leur conception. Nous citerons entre autres les ponts de la Goldach, de la Sitter, de la Glatt et de la Thur.

Le pont-viaduc de la Goldach est établi sur une pente de 20 millimètres et une courbe de 360 mètres de rayon. Il se compose de cinq arches en maçonnerie en plein cintre ayant chacune $13^m,50$ d'ouverture.

La distance entre les culées est de 78 mètres. La hauteur du rail au-dessus de la vallée est de 26 mètres.

Les trois ponts de la Sitter, de la Glatt et de la Thur, sont formés de poutres en treillis, supportées par des piliers en fonte reposant sur des socles en maçonnerie.

Le plus remarquable de ces ouvrages est celui de la Sitter, qui permet au chemin de fer de traverser la vallée à *soixante-cinq mètres* au-dessus des eaux du ruisseau. Il se compose de quatre travées en fer ayant ensemble 160 mètres d'ouverture; les piles qui

le supportent sont composées de cadres en fonte présentant une hauteur totale de 57 mètres, établis sur un socle en maçonnerie de 13m,50 de hauteur. Le tablier est supporté par deux poutres de 163m,80 de longueur et 3m,60 de hauteur, laissant entre elles un espace libre de 4m,20 pour le passage de la voie.

Chemin du Jura Industriel. — Ce chemin est destiné à relier Neuchâtel à la France par Morteau et Besançon, en passant par les villes de la Chaux-de-Fonds et du Locle, centres des fabriques d'horlogerie dans le canton de Neuchâtel. Il se trouvera dans les conditions d'exploitation les plus difficiles.

Sa longueur totale de Neuchâtel à la frontière française est de 35 kilomètres ; il présente, sur près de 28 kilomètres, des pentes de 25 à 27 millmètres, et encore, pour ne pas dépasser cette pente, le chemin est-il forcé de se déployer sur un coteau escarpé qu'il ne peut quitter pour descendre à Neuchâtel qu'au moyen d'un rebroussement placé dans la petite gare de Chambrelieu.

Le rayon minimum des courbes est de 500 mètres. On rencontre sur ce chemin deux grands tunnels : l'un de 3,120 mètres en pente de 25 millimètres sur les deux tiers de sa longueur; l'autre, de 1,320 mètres à peu près horizontal.

Il n'y a sur cette ligne aucun autre ouvrage d'art considérable et aucun terrassement important.

Les travaux sont en pleine exécution et se poursuivent avec activité. Ce chemin se raccordera, plus tard, avec le chemin projeté de Gray à Besançon et Morteau. Le chemin étudié de Morteau à Besançon présente quelques travaux considérables ; les pentes n'y dépassent pas 16 millimètres.

Chemin de Turin à Gênes[1]. — Le chemin de fer de Gênes à Turin, livré à la circulation au commencement de l'année 1854, a été commencé en 1846 par le gouvernement sarde, qui a également construit le chemin d'Alexandrie à Novare, première section du chemin de fer d'Alexandrie au lac Majeur.

Le chemin de fer de Gênes à Turin, le premier qui traverse les Apennins, remplace la route royale, construite depuis trente ans

[1] Extrait du *Journal des chemins de fer.*

seulement. Les échos de ces montagnes, que les sons cadencés des clochettes des convois de mulets faisaient résonner, retentissent aujourd'hui du sifflet de la locomotive, et annoncent une nouvelle victoire de l'industrie humaine sur les obstacles de la nature.

Ce chemin de fer a une très-grande importance, non-seulement parce qu'il joint deux villes capitales d'anciens États italiens aujourd'hui réunis, mais encore parce que, en réduisant de moitié les dépenses de transport des marchandises, il abaisse les prix d'importation, favorise l'exportation des riches produits de l'agriculture du Piémont, et développe les entreprises industrielles, en faisant arriver jusqu'au pied des montagnes, riches en cours d'eau, les matières premières, qui s'exporteront transformées en produits manufacturés.

Il exercera ainsi la plus heureuse influence sur la prospérité du Piémont et l'activité du port de Gênes, dont les intérêts sont solidaires depuis que le chemin de fer, obtenant, par ses bas prix, la préférence sur toutes les communications entre la mer et le Piémont, fait de Gênes le principal port du royaume de Sardaigne.

Ces avantages, appréciés depuis longtemps, auraient fait entreprendre ce chemin de fer plus tôt, si la nature n'avait présenté à son exécution de nombreux et sérieux obstacles.

Il fallait, en effet, traverser la chaîne des Apennins, dont le faîte, élevé d'environ 300 mètres au-dessus du niveau de la mer, n'en est éloigné que de 20 kilomètres; des rampes rapides et un long tunnel, dans une roche sans consistance, étaient inévitables; les seules vallées praticables sur les deux versants sont tortueuses, bordées de roches schisteuses en décomposition, et occupées par des torrents, dont le lit présente des escarpements qui atteignent souvent 30 mètres de hauteur verticale.

Arrivé dans la plaine, le chemin traverse les torrents de la Bormida, du Tanaro et du Pô, qui, à l'époque de la fonte des neiges tombées sur les montagnes voisines, deviennent, par le volume de leurs eaux, comparables aux fleuves les plus grands et les plus dangereux.

On conçoit que l'on ait tardé à entreprendre une communication présentant de si nombreuses difficultés. Mais, lorsque les chemins

de fer, en se propageant en France et en Italie, eurent démontré les avantages de ce nouveau mode de communication et menacé, en favorisant des points rivaux, de faire perdre à Gênes une partie des avantages de sa position, il n'était plus possible d'hésiter.

Après avoir accordé, pour la construction de ce chemin de fer, une concession demeurée sans résultat sérieux, le gouvernement sarde se décida à faire exécuter lui-même les travaux, qu'il poursuivit, malgré les agitations politiques et les embarras financiers, avec une courageuse persévérance, aussi honorable pour lui que pour la nation, qui, maintenant, recueille le fruit des sacrifices qu'elle s'est imposés.

La gare des voyageurs, point de départ à Gênes, est établie près du palais Doria. Après avoir longé le pied de la montagne qui entoure le port, le chemin de fer traverse un tunnel qui débouche à Saint-Pierre d'Arena, faubourg de Gênes ; il remonte la vallée de Polcevera jusqu'à Pontedecimo, puis s'engage dans la vallée du Ricco, qui le fait arriver au pied de la chaîne des Apennins, qu'il traverse au moyen d'un tunnel, et aboutit sur le versant nord, à Busala, dans la vallée de la Scrivia, qu'il suit jusqu'à Serravalle ; de là il se dirige sur Novi et Alexandrie, en touchant à Frugarola, et traversant le torrent Bormida, ainsi que le champ de bataille de Marengo.

D'Alexandrie, le chemin de fer remonte la vallée du Tanaro jusqu'à Asti, puis les vallées du Borbore, de la Triversa, jusqu'à Villafranca ; il s'élève, en passant près de Saint-Paul, au niveau de Villanova, qui appartient au bassin hydrographique du Pô ; il passe un peu au nord de Villanova, se dirige sur Cambiana, touche à Truffarello, à Montealier, et aboutit à Turin, à la porte Neuve, en face le palais du roi.

La distance de Gênes à Turin est de 165 kilomètres.

Dans la vallée des Apennins, le rayon des plus petites courbes n'est pas inférieur à 400 mètres, sauf une seule exception, où il est de 300 mètres ; les rayons dans la plaine sont généralement supérieurs à 1,000 mètres.

Le tableau suivant donne les hauteurs au-dessus de la mer, des

principales inflexions du profil, ainsi que le maximum d'inclinaison adopté :

STATIONS.	HAUTEUR AU-DESSUS DU NIVEAU DE LA MER.	DIFFÉRENCES DE NIVEAU.	DISTANCES HORIZONTALES EN KILOMÈTRES.	INCLINAISONS EXPRIMÉES EN MILLIMÈTRES	
				Moyenne.	Maxima adoptée.
	m	m	k	m	m
Gênes.	16 ,00	7 ,34	3 ,00	2 ,3	3 ,4
Saint-Pierre d'Arena.	8 ,66				
Pontedecimo.	90 ,00	81 ,34	9 ,85	8 ,5	11 ,0
Busalla.	361 ,23	271 ,23	9 ,60	28 ,2	35 ,0
Alexandrie.	95 ,05	266 ,18	52 ,55	5 ,1	8 ,0
Villafranca.	157 ,12	62 ,12	49 ,50	1 ,3	5 ,0
Villanova.	257 ,66	100 ,54	10 ,20	9 ,8	10 ,0
Montcalier.	225 ,76	31 ,96	22 ,50	1 ,4	4 ,0
Turin.	236 ,56	11 ,80	8 ,00	1 ,5	4 ,0

Il résulte de ces indications que le chemin de fer, pour traverser les Apennins, s'élève de 345^{m},23 au-dessus de la station de Gênes, puis descend de 266^{m},18 pour atteindre la station d'Alexandrie, et remonte de nouveau de 162^{m},61 pour traverser le second seuil de partage entre les bassins hydrographiques du Tanaro et du Pô, puis descend de nouveau de 20^{m},10 pour arriver au niveau de la station et de la ville de Turin.

Le tunnel des Apennins a 3,100 mètres de longueur. La pente du chemin dans ce tunnel est de 28,7 millimètres et aux abords de 35 millièmes. Son extrémité septentrionale se trouve à la station même de Busalla.

Entre Gênes et le tunnel des Apennins, le chemin de fer est à peu près constamment soutenu par des murs ou porté par des arcades, soit pour réduire l'occupation de terrains précieux, soit parce qu'il fallait défendre le chemin contre l'action des torrents, dont il occupe en partie le lit ; et dans la vallée plus large de la Polcevera les murs de soutènement ont été remplacés par des murs d'endiguement destinés à contenir et redresser le cours du torrent.

Sur le versant méridional des Apennins, on a ouvert deux tunnels ayant des longueurs de 686 et 197 mètres, et couvert la voie

en quatre endroits différents sur les longueurs de 66, 106, 36 et 100 mètres. Le chemin de fer traverse le torrent Zecca sur un pont de 60 mètres d'ouverture en cinq arches, et le Ricco sur quatre ponts de 16 à 22 mètres d'ouverture. Les intersections de la route royale et de petits cours d'eau ont nécessité la construction d'un grand nombre de viaducs et aqueducs.

Le tunnel de Giovi, percé dans le massif des Apennins, traverse sur presque tout son parcours une roche décomposée qui exerce une grande pression, et a exigé, sur toute sa longueur de 3,255 mètres, un solide revêtement en maçonnerie qui a absorbé au delà de trente millions de briques.

Sur le versant septentrional et à 3 kilomètres au delà du tunnel de Giovi, commence, dans la vallée de la Scrivia, une série de tunnels, de ponts, viaducs et murs de soutènement, qui transforment la construction du chemin de fer en un ouvrage d'art continu d'une étendue d'environ 12 kilomètres.

Les tunnels, au nombre de quatre, ont les longueurs de 860, 470 et 695 mètres. Des huit ponts jetés sur la Scrivia, quatre sont composés d'une arche de 40 mètres d'ouverture avec 10 de flèche et 25 mètres de hauteur; deux ont 60 mètres d'ouverture en trois arches de 14 à 25 mètres de hauteur; deux ont 60 mètres en cinq arches de 12 mètres d'ouverture et de 9 à 15 mètres de hauteur. On rencontre un viaduc de 320 mètres de longueur et d'une élévation de 27 à 30 mètres.

Sorti des gorges de la vallée, le chemin de fer franchit, sur des remblais élevés de 24 et 20 mètres, un affluent et une partie du lit de la Scrivia; puis il traverse le village de Serravalle au milieu d'une large rue obtenue en démolissant un grand nombre de maisons, dont le prix d'acquisition était cependant inférieur à la dépense d'un mur de soutènement, qui, fondé dans le lit du torrent. aurait atteint une hauteur considérable. Au delà de Serravalle, le chemin de fer est établi sur une chaussée élevée, à laquelle succède une longue tranchée, passe près de Novi, où il atteint la plaine, traverse la Bormida sur un pont de neuf arches, long de 135 mètres, et touche Alexandrie, où il traverse le Tanaro sur un pont de quinze arches, long de 150 mètres.

Dans la vallée du Tanaro, que le chemin de fer remonte, le torrent décrit une série de sinuosités qui donne à son cours l'aspect d'un immense serpent dont les replis atteignent en deux endroits, à Felizzano et à Annone, le pied des collines qui dominent la vallée, et, barrant le passage au chemin de fer, obligeaient ou à construire quatre ponts, ou à ouvrir deux nouveaux lits sur les longueurs de 750 et 850 mètres; l'on s'est arrêté à ce dernier parti, plus économique, malgré une dépense considérable en terrassements et ouvrages de défense contre les érosions.

Après avoir quitté la vallée du Tanaro, le chemin de fer remonte des vallées secondaires, creusées dans un terrain composé à peu près exclusivement d'argile de la variété désignée sous le nom vulgaire de glaise, qui formait presque les seuls déblais que l'on extrayait des tranchées, et dont on pouvait disposer pour exécuter des remblais considérables, que l'on n'a réussi à faire tenir qu'en élargissant considérablement leur base, qui va jusqu'à quatre ou cinq fois la hauteur des remblais.

Outre les viaducs pour conserver les communications et les aqueducs, les ouvrages d'art que le chemin de fer a exigés entre ce point de partage et Turin comprennent le pont sur le Pô, à Montcalier, d'une longueur de 112 mètres en sept arches, et un pont de 30 mètres en trois arches sur le torrent Saagone.

Le chemin de fer de Gênes à Turin peut être comparé aux chemins de Manchester à Leeds et de Liége à Aix-la-Chapelle, pour le nombre, mais non pour l'importance des difficultés rencontrées, qui sont beaucoup plus grandes sur la ligne de Gênes à Turin.

Le prix par kilomètre est d'environ 630,000 francs.

Pour s'élever du niveau de la mer au sommet des Apennins sur la courte distance de 20 kilomètres, le profil du chemin de fer a dû admettre la plus forte inclinaison, 35 millimètres, que l'on ait encore adoptée sur les lignes de grande communication, et qui dépasse notablement la rampe de 25 millimètres du passage du Sœmmering. Aussi étudie-t-on en ce moment la question de savoir s'il n'y aurait pas lieu de remplacer les locomotives par des machines fixes hydrauliques.

Jusqu'à présent les convois ont été remorqués sur les rampes de

35 millimètres par des locomotives à quatre roues du poids d'environ 22 tonneaux et disposées pour être réunies par la plate-forme du mécanicien, qui peut ainsi manœuvrer les deux locomotives nécessaires pour remorquer un convoi ordinaire.

Le mouvement à la remonte étant considérable, les frais de traction sont très-élevés[1].

Nous ne devons pas terminer cet article sur le chemin de Turin à Gênes sans faire mention de l'habile ingénieur qui l'a construit, M. Mauss, attaché précédemment au service des ponts et chaussées en Belgique, son pays, et auteur des plans inclinés de Liége.

[1] Voir, page 127 et suivantes, les renseignements donnés sur les frais de traction.

CHAPITRE V

FRAIS DE CONSTRUCTION DES CHEMINS ÉTABLIS ET RÉDACTION DES DEVIS POUR LES CHEMINS A CONSTRUIRE

La rédaction des devis est une des opérations les plus importantes et les plus difficiles dont l'ingénieur chargé de la construction d'un chemin de fer ait à se préoccuper. Le succès d'une entreprise dépend essentiellement de l'exactitude des estimations faites de la dépense. Nous verrons plus loin que, pour un grand nombre de lignes établies, les erreurs de devis ont été considérables. L'appréciation des produits avait été fort heureusement autant au-dessous de la vérité que celle des dépenses, de manière qu'il s'est établi une sorte de compensation, et qu'en définitive les revenus ont dépassé les espérances des fondateurs. Il n'en faut pas moins s'attacher à calculer aussi exactement que possible le capital à émettre, surtout pour les lignes qui restent à construire et sur lesquelles la circulation ne sera pas aussi active que sur celles déjà existantes.

Il est bien rare que l'on dresse des devis *réguliers* et *complets* d'un chemin de fer avant d'en entreprendre l'exécution. Pour dresser des devis réguliers, il faut connaître parfaitement le tracé, la nature des terrains traversés, la nature des matériaux voisins de la ligne, etc., etc., et avoir rédigé tout le projet. Or l'administration, en France, n'approuve jamais le tracé d'une grande ligne dans son ensemble; elle ne l'approuve que par portions successives. L'étude des terrains est longue et difficile; il en est de même de celle des matériaux. La rédaction des projets exige aussi beaucoup de temps et ne peut avoir lieu qu'après l'approbation du tracé. Si les compagnies attendaient, pour commencer leurs travaux, l'approbation complète du tracé et l'accomplissement de toutes les études qui

font suite à cette approbation, elles s'exposeraient à des pertes de temps, et, par suite, à des pertes d'argent considérables. Les travaux commencent donc généralement le plus souvent sur une grande échelle avant que les devis réguliers et complets aient été dressés; mais, à défaut de ces devis, on en dresse d'approximatifs qui doivent se rapprocher le plus possible de la vérité. Les devis réguliers et complets viennent ensuite, quand les travaux sont déjà parvenus à un certain degré d'avancement. Quant au prix de revient, on ne peut l'établir avec une entière exactitude que lorsque les décomptes ont été acceptés par les entrepreneurs, car il arrive presque toujours que les entrepreneurs élèvent au dernier moment des réclamations tout à fait imprévues.

Pour dresser le devis d'un chemin à construire, il faut connaître le prix de revient des chemins livrés à l'exploitation et le décomposer dans ses éléments.

Prix de construction des chemins établis. — Ce prix de revient varie dans des limites fort étendues : c'est ce que prouvent les tableaux suivants, qui ont été dressés d'après les documents officiels publiés par les gouvernements d'Angleterre, de France, de Belgique, d'Allemagne et des États-Unis, ou d'après les comptes rendus des Compagnies.

Il est important, en procédant par analogie pour l'établissement du prix des chemins à construire, de tenir compte de l'augmentation qu'ont subie généralement les prix de main-d'œuvre, ceux des matériaux, etc. Ainsi le mètre cube de terrassement et de maçonnerie, qui a coûté il y a quelques années un certain prix, se paye aujourd'hui un quart, ou même moitié en sus.

CHEMINS ANGLAIS [1]

[1] NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies [2] à une voie.	à deux voies.	en totalité.	LONGUEUR totale concédée.	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre [3] matériel compris.
1.	Aberdare (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de Taff Vale)	13	»	13	13	128 076
2.	Aberdeen	11	82	93	94	473 315
3.	Ambergate, Nottingham et Boston, et Eastern junction	»	32	32	144	447 164
4.	Arbroath et Forfar (ligne affermée à perpétuité à la Cie du chemin de fer d'Aberdeen)	»	25	25	25	266 666
5.	Ardrossan	13	10	23	23	115 942
6.	Bangor et Caernarvon	11	»	11	11	318 182
7.	Bedford (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de London et North Western)	»	27	27	27	»
8.	Belfast et Ballymena	61	»	61	105	179 841
9.	Belfast et County Down	27	»	27	73	228 310
10.	Birkenhead, Lancashire et Cheshire junction	1	52	53	55	»
11.	Birmingham, Wolverhampton et Stour Valley (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de London et de North Western)	»	23	23	28	»
12.	Blackburn	20	22	42	73	473 630
13.	Blyth et Tyne	17	»	17	33	193 181
14.	Bodmin et Wadebridge	24	»	24	24	»
15.	Bristol et Exeter	49	122	171	255	421 333
16.	Buckinghamshire (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de London et North Western)	51	34	85	104	398 798
17	Caledonian	6	298	304	475	510 498
18.	Caledonian et Dumbartonshire junction	»	13	13	55	393 909
19.	Chester et Holyhead (comprenant le chemin de fer de Mold)	11	147	158	161	673 809
20.	Cockermouth et Workington	14	»	14	15	238 886
21.	Colchester, Stour Valley, Sudbury et Halstead	21	»	21	71	316 549
22.	Cork et Bandon	32	»	32	97	172 164
23.	Cork, Blackrock et Passage	10	»	10	12	472 214
24.	Deeside	26	»	26	26	136 202
25.	Dowlais	1	2	3	»	»

1. Au 31 décembre 1853, d'après les documents officiels.
2. Le Gouvernement ne possède et n'exploite aucun chemin de fer.
3. Calculée d'après le capital d'actions et d'emprunts autorisé par le Parlement et la longueur totale concédée, au 31 décembre 1853. Ce capital sera probablement trop faible pour quelques chemins non encore terminés.

(SUITE.)

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies à une voie.	à deux voies.	en totalité.	LONGUEUR totale concédée.	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre, matériel compris.
26.	Dublin et Belfast junction.	89	»	89	89	355 803
27.	Dublin et Drogheda.	43	57	100	100	317 666
28.	Dublin et Kingstown..	3	10	13	13	1 288 461
29.	Dublin et Wicklow	»	15	15	55	303 030
30.	Dundalk et Euniskillen..	32	»	32	101	134 257
31.	Dundee et Arbroath (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de Dundee, Perth et Aberdeen)..	»	28	28	28	317 500
32.	Dundee et Newtyle (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de Dundee, Perth et Aberdeen).	»	16	16	16	218 750
33.	Dundee et Perth, et Aberdeen junction.	»	33	[illegible]	36	601 804
34.	East Anglian..	78	29	[illegible]	133	300 757
35.	East Lancashire.	12	116	128	145	684 798
36.	East Lincolnshire (ligne affermée à la Cie du chemin de fer le Great Northern.	»	76	76	76	263 157
37.	Eastern Counties.	14	295	309	425	789 192
38.	Eastern Union.	17	116	133	167	448 602
39.	Edimburgh et Bathgate.	2	17	19	38	219 078
40.	Edimburgh et Glasgow	36	94	130	138	638 600
41.	Edimburgh, Perth et Dundee. . .	4	112	116	137	788 301
42.	Exeter et Crediton (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de Bristol à Exeter).	9	»	9	9	333 330
43.	Forth et Clyde (Navigation de). — Compagnie propriétaire du chemin de fer de Drumpeller.	1	»	1	3	288 889
44.	Furness.	23	9	32	37	258 063
45.	Glasgow, Terminus général et Port.	»	4	4	7	1 190 471
46.	Glasgow et South Western.	37	245	282	534	347 167
47.	Gloucester et Dean Forest (ligne affermée à perpétuité à la Cie du Great Western).	»	13	13	17	496 372
48.	Great Northern.	»	381	381	561	477 917
49.	Great North d'Angleterre, Clarence et Hartlepool junction (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de York, Newcastle et Berwick).	4	10	14	14	177 500
50.	Great Southern et Western. . . .	»	303	303	418	244 415

(Suite.)

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies.			LONGUEUR totale concédée.	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre, matériel compris.
		à une voie.	à deux voies.	en totalité.		
51.	Great Western.	6	485	491	923	571 487
52.	Hartlepool (dock et chemin de fer).	3	23	26	26	415 384
53.	Hereford, Ross et Gloucester.	8	»	8	36	254 166
54.	South Eastern d'Irlande.	36	»	36	36	244 444
55.	Kendal et Windermere.	»	17	17	17	339 705
56.	Killarney junction.	65	»	65	65	134 615
57.	Lancashire et Yorkshire.	19	294	313	337	975 448
58.	(Preston et Wyre).	14	33	47	47	376 595
59.	Lancaster et Carlisle.	»	113	113	113	384 734
60.	Lancaster et Preston junction..	»	33	33	33	434 090
61.	Leeds Northern.	33	79	112	145	513 436
62.	Liskeard et Caradon.	14	»	14	14	53 576
63.	Liverpool, Crosby et Southport.	»	27	27	27	277 777
64.	Llanelly (dock et chemin de fer)..	45	»	45	58	142 241
65.	Llynoi Valley.	28	»	28	52	71 875
66.	London et Blackwall.	»	8	8	69	5 474 000
		»	»	61		778 623
67.	London et Greenwich (ligne affermée à la Cie du chemin de London et South Eastern)..	»	6	6	6	4 138 750
68.	London et North Western.	94	757	851	1173	825 552
69.	London et South Western.	110	290	400	610	414 101
70.	London, Brighton et South Coast.	27	235	262	294	632 732
71	Londonderry et Coleraine..	58	»	58	103	181 229
72.	Londonderry et Enniskillen.	52	15	67	97	130 154
73.	Malton et Driffield junction.	31	»	31	39	205 128
74.	Manchester et Southport.	»	5	5	73	353 869
75.	Manchester, Buxton, Matlock et Midland junction.	»	18	18	82	184 451
76.	Manchester, Sheffield et Lincolnshire.	9	257	266	375	664 913
77.	Manchester South junction et Altrincham (compris dans la Cie London et North Western et dans la Compagnie précédente.	»	15	15	15	»
78.	Maryport et Carlisle.	32	13	45	45	255 525
79.	Middlesbro et Redcar (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de Stockton et Darlington.	13	»	13	13	169 230
80.	Midland.	42	742	784	1026	505 900
81.	Midland Great Western d'Irlande..	47	157	204	292	222 317
82.	Monkland.	40	17	57	89	239 737

(SUITE.)

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies. à une voie	à deux voies.	en totalité.	LONGUEUR totale concédée.	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre, matériel compris.
83.	Monmouthshire (chemin de fer et canal)	56	7	63	86	241 279
84.	Morayshire	10	»	10	10	99 000
85.	Newcastle sur Tyne et Carlisle	19	107	126	126	351 190
86.	Newmarket	10	27	37	105	164 682
87.	Newport, Abergavenny et Hereford.	»	54	54	104	363 060
88.	Newry, Warrenpoint et Rostrevor.	9	»	9	13	256 409
89.	Norfolk (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de Eastern Counties.	54	79	133	178	331 303
90.	Lowestoft	18	»	18	18	444 444
91.	Northern et Eastern	»	71	71	71	433 544
92.	North et South Western junction	»	6	6	8	267 706
93.	North British	7	231	238	262	426 653
94.	North Devon	4	»	4	78	265 544
95.	North London (autrefois East and West India Docks et Birmingham junction	»	13	13	15	1 999 443
96.	North Staffordshire	17	182	199	221	658 371
97.	North Union (ligne affermée aux Cies du chemin de fer de London et North Western et Lancashire and Yorkshire	»	64	64	64	482 812
98.	North Western	13	61	74	106	414 929
99.	Oxford, Worcester et Wolverhampton	26	116	142	186	550 134
100.	Preston et Longridge (ligne affermée à la Cie du chemin de fer de Fleetwood, Preston et West Riding junction	10	»	10	10	145 000
101.	Royston et Hitchin (ligne affermée à la Cie du Great Northern	»	29	29	29	398 389
102.	Saint Andrew's	7	»	7	7	100 000
103.	Saint Helene (canal et chemin de fer)	7	32	39	54	428 935
104.	Saundersfoot	11	»	11	11	94 318
105.	Central Ecossais	7	73	80	107	404 009
106.	Midland junction Ecossais	3	52	55	82	243 902
107.	Sheffield, Rotherham, Barnsley, Wakefield, Huddersfield et Goole.	17	»	17	17	685 845
108.	Shrewsbury et Birmingham	»	47	47	57	786 425
109.	Shrewsbury et Chester	25	65	90	94	443 6[illegible]7

(Suite.)

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR des chemins exploités par les Compagnies. à une voie.	à deux voies.	en totalité	LONGUEUR totale concédée.	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre, matériel compris.
110.	Shrewsbury et Hereford.	75	6	81	81	185 185
111.	Shropshire Union (canal et chemin de fer.	»	29	29	228	482 456
112.	South Devon.	70	21	91	110	587 083
113.	South Eastern.	15	394	409	441	645 996
114.	South Staffordshire.	»	41	41	59	533 898
115.	South Wales.	57	143	200	359	308 054
116.	South Yorkshire (chemin de fer et rivièra Dun	4	27	31	79	434 691
117.	Stirling et Dumfernline.	»	40	40	40	325 000
118.	Stockton et Darlington.	14	47	61	61	430 327
119.	Taff Vale.	27	29	56	77	346 753
120	Ulster.	»	57	57	57	350 877
121.	Vale Neath.	16	25	41	59	336 158
122.	Warrington et Stockport.	16	»	16	31	322258
123.	Waterford at Kilkenny.	46	»	46	50	299 500
124.	Waterford et Limerick.	87	35	122	122	204 918
125.	Waterford et Tramare.	12	»	12	12	133 333
126.	Wear Valley (ligne affermée à la C[ie] du chemin de Stockton et Darlington.	49	20	69	69	298 540
127.	West Cornwall.	56	2	58	71	234 154
128.	West Hartlepool (port et chemin de fer).	»	72	72	72	692 592
129.	West London (ligne affermée aux C[ies] du chemin de London and North Western et du Great Western.	5	»	5	5	1 375 000
130.	Whitehaven et Furness junction. .	56	»	56	59	199 124
131.	Whitehaven junction.	19	»	19	20	271 250
132.	York et North Midland.	64	389	453	546	356 803
133.	York, Newcastle et Berwick. . . .	58	437	495	598	536 739
134 à 142.	Lignes diverses comprises dans les chemins qui précèdent.					
	Totaux.	2725	9637	12362	17051	450 709

SITUATION GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER DE LA GRANDE-BRETAGNE AU 31 DÉCEMBRE 1853.

NOMBRE des lignes.	LONGUEURS — EN EXPLOITATION — à une voie.	à deux voies.	ensemble	en construction	à construire.	TOTAL concédé.	CAPITAL DE PREMIER ÉTABLISSEMENT. — LEVÉ	AUTORISÉ[2] — Total.	par kilomètre.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	fr.	fr.	fr.
92	»	»	»	465	2844	3309	6 811 160 420	9 118 288 319	450 709
136[1]	2724	9593	12317	950	3655	16922			
6	1	44	45	»	84	129	Pas de capital autorisé.		
6	Longueur non indiquée.						21 952 500	50 955 000	
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	fr.	fr.	
Totaux..	2725	9637	12362	1415	6583	20360	6 833 112 920	9 169 243 319	450 709

1. On remarquera que 6 de ces entreprises embrassent, outre des portions de chemin de fer, des travaux de docks et de navigation; cela a du reste peu d'influence sur le capital autorisé qui, pour ces 6 entreprises atteint environ 420 000 fr., ce qui diffère peu de la moyenne générale que nous trouvons être 450 000 fr. par kilomètre.

2. Ces sommes comprennent le capital levé.

On remarquera, en parcourant les tableaux précédents, que les lignes qui ont coûté un million ou au delà par kilomètre sont placées dans des conditions exceptionnelles. Tels sont, par exemple, les chemins de Londres à Blackwall, Londres à Greenwich et Dublin à Kingstown, construits sur une petite longueur entièrement aux abords d'une capitale. Tel aussi le chemin classé sous le n° 45 de notre tableau, qui comprend, outre le chemin de fer proprement dit, la construction d'un port. Le prix de revient d'autres lignes

établies depuis longtemps (Great Western, etc.) ne paraît pas aussi élevé qu'on l'aurait supposé. Cela tient à l'emploi qu'on a fait d'une partie du capital pour la construction d'embranchements beaucoup moins coûteux que la ligne principale. Enfin, si le coût de la plupart des lignes affermées est peu considérable, il faut l'attribuer sans doute à ce que les compagnies fermières ont fourni partie ou totalité du matériel roulant.

La plupart des chemins anglais ayant changé de nom par suite de la fusion des compagnies, nous croyons utile de publier, indépendamment du tableau qui précède et qui est dressé sur des documents officiels, un autre tableau du prix de revient en 1843 des grandes lignes anglaises avec l'indication du cube des terrassements sur une partie de ces lignes et de leur produit.

NUMÉROS D'ORDRE.	DÉSIGNATION DES LIGNES.	LONGUEURS.	TERRASSEMENTS PAR KILOMÈTRE.	DÉPENSES PAR KILOMÈTRE. Année 1843[1].	RECETTES PAR KILOMÈTRE. Année 1842[2].
		kil.	m 3.	fr.	fr.
1	Birmingham à Gloucester. . .	88	36 000	417 614	27 000
2	Chester à Berkenead.	23	39 000	573 390	33 000
3	Eastern Counties.	82	»	834 695	15 000
4	Edimbourg à Glascow.	74	»	530 405	31 500
5	Glascow à Ayr.	83	»	310 313	17 000
6	Grand junction.	182	»	326 250	77 000
7	Great North of England. . . .	72	15 000	424 723	23 500
8	Lancaster à Preston.	33	47 000	370 820	16 000
9	Liverpool à Manchester. . . .	50	43 000	764 700	119 000
10	Londres à Southampton. . . .	150	»	431 803	53 000
11	Londres à Birmingham. . . .	181	67 000	822 895	112 000
12	Londres à Bristol.	190	»	875 000	88 500
13	Londres à Brigthon.	74	74 000	889 875	40 000
14	Londres à Greenwich.	6	»	4 824 337	227 500
15	Londres à Blackwall.	6	»	5 378 133	199 500
16	Manchester à Leeds.	81	48 000	963 975	75 500
17	Newcastle à Carlisle.	98	»	270 663	20 000
18	North Midland.	117	62 000	714 673	46 500

1. D'après le cinquième rapport du comité des chemins de fer à la Chambre des communes.
2. Ces recettes sont données pour l'année 1842. Le montant de celles de l'année 1843 peut être évalué à 1/10 de plus.

NOMS DES COMPAGNIES.	PARCOURS DES CHEMINS.	LONGUEUR DES CHEMINS TERMINÉS.		
		une voie.	deux voies.	totale.
		kil.	kil.	kil.
Chemin de ceinture.	Autour de Paris.	»	17,00	17,00
Nord.	Paris à la frontière par Lille et Valenciennes.	»	338,00	338,00
	Lille à Dunkerque et Calais. .	»	145,00	145,00
	Amiens à Boulogne.	»	124,00	124,00
	Creil à Saint-Quentin.	»	102,00	102,00
Ouest-Nord-Ouest.	Paris au Pecq.	»	18,05	18,05
	Le Vésinet à Saint-Germain (chemin atmosphérique). .	2, 5	»	2,05
	Asnières à Argenteuil.	4, 5	»	4,05
	Paris à Auteuil.	»	8,01	8,01
	Paris à Rouen.	»	140,00	140,00
	Rouen au Havre.	»	92,00	92,00
	Rouen à Dieppe.	»	50,00	50,00
	Paris à Versailles (rive droite).	»	19,00	19,00
	» (rive gauche)	»	17,00	17,00
Orléans.	Paris, Orléans et Corbeil. . . .	»	133,00	133,00
	Orléans à Bordeaux par Tours.	»	461,00	461,00
	Tours à Nantes.	»	194,00	194,00
	Centre, Clermont et Limoges. .	»	320,00	320,00
Est.	Paris à Strasbourg.	»	502,00	502,00
	Frouard à Metz et Forbach. .	»	122,00	122,00
	Metz à Thionville[1].	»	»	30,00
	Épernay à Reims..	30,00	»	30,00
	Strasbourg à Vissembourg[2]. .	»	»	58,00
	Strasbourg à Bâle.	»	141,00	141,00
	Mulhouse à Thann..	20,00	»	20,00
	Blesmes à Gray[3]..	17	»	17,00
	Montereau à Troyes.	100,00	»	100,00
Midi.	Bordeaux à La Teste.	52,00	»	52,00
Orsay.	Paris à Sceaux..	11,00	»	11,00
Paris à Lyon.	Paris à Lyon.	»	508,00	508,00
	Lyon à Saint-Étienne.	»	57,00	57,00
	Saint-Étienne à Andrezieux. .	18,00	»	18,00
Chemin de jonction du Rhône à la Loire (Grand-Central).	Andrezieux à Roanne..	68,00	»	68,00
	Lyon à la Méditerranée. . . .	»	125,00	125,00
	Avignon à Marseille.	»	122,00	122,00
	Beaucaire à Nîmes et Alais.. .	64,00	28,00	92,00
	Nîmes à Montpellier.	»	52,00	52,00
	Montpellier à Cette..	27,00	»	27,00

1. Supposant la seconde voie posée. — 2. Supposant la seconde voie posée. — 3. Ligne inachevée.
aux redevances payées à la compagnie de Saint-Germain. — 6. Cette compagnie ne possédait pas de-

LONGUEUR DES VOIES ACCESSOIRES pour 100 kilomètres de chemin	DISTANCE MOYENNE entre LES STATIONS.	DÉPENSES MOYENNES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT PAR KILOMÈTRE.			RECETTE BRUTE DE L'EXPLOITATION par kilomètre.	DATES	
		par l'État.	par la compagnie.	totale.		de l'exercice.	de l'ouverture de la ligne entière.
kil.	kil.	fr.	fr.	fr.	fr		
»	1,31	»	»	11500,000[4]	39,400	1854	1853
	8,33	»	444,000	444,000			1846
22,50		•	264,000	264,000	56,000	1854	1848
		»	300,000	300,000			1850
		»	240,000	240,000			1837
							1847
»	3,70	»	1,081,100	1,081,100			
»	2,50	712,000	1,805,000	2,517,000	70.400	1854[5]	1851
»	2,25	»	97,000	97,000			1854
»	1,35	»	432,000	432,000			
19,00	8,12	•	484,000	484,000	81,500	1854	1843
»	7,66	»	534,000	534,000	54,000	1853	1847
»	10,00	»	281,800	281,800	15,855	1855[6]	1848
»	2,71	»	872,800	872,800	81,600	1851	1839
»	2,43	»	1,015,000	1,015,000	50,000	1852	1840
33,00	5,54	»	460,000	460,000	82,300	1853	1843
•	8,40	176,000	152,000	328,000	37,634	1854	1853
»	6,50	230,000	190,000	420,000			1851
»		190,000	123,000	313,000			1854
21,40	8,23	211,000	215,000	427,000			1852
16,30	7,62		278,000	278,000	43,300	1854	1852
»	6,00		224,000	224,000			1854
»	7,50	250,000	67,000	317,000			1854
26,00		»	217,240	217,240	»	1856	
»	4,86	»	310,000	310,000	24,500	1854	1841
»	5,25	»	147,500	143,500	14,000	1854	1839
»	»	•	»		11,400	1854	1854
»	7,70	»	221,100	221,100	14,700	1854	1848
»	4,73	»	115,000	115,000	4,900	1853	1842
»	3,25	»	520,000	520,000	30,100	1853	1846
»	8,75	169,000	394,000	563,000	58,500	1854	1854
»	4,07	»	454,800	454,800	93,200	1852	1832
»	5,56	»	190,000	190,000	25,300	1852	1827
»	7,55	»	198,000	198,000	16,000	1852	1833
»	6,25	»	445,000	445,000	»	»	1855
»	7,50	80,000	664,000	744,000	41.800	1853	1849
»	5,41		210,800	210,800	23,800	1851	1840
»	3,27	290,000	»	290,000	20,000	1852	1845
»	5,75	»	183,300	183,300	18,000	1850	1859

— 4. Non compris le matériel fourni par les compagnies exploitantes. — 5 Le capital correspondant matériel roulant.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des ÉTATS ET DES CHEMINS.	PARCOURS.	LONGUEUR des chemins exploités à une voie.	à deux voies.
	Prusse.		kil.	kil.
1.	Aix-la-Chapelle-Dusseldorf.	par Gladbach.	47	»
	Ruhrort-Crefeld-Gladbach.	Gladbach, Crefeld, Homberg, près Ruhrort.	42	»
2.	Berg-Marche.	Elberfeld à Dortmund.	58	»
3.	Berlin-Anhalt.	Berlin à Cothen, par Juterbogh. .	173	58
	Et embranchement	de Juterbogh à Riesa.		
4.	Berlin Hambourg.	par Wittenberge, Haguenow, Büchen.		
	Et embranchement	de Büchen sur Lauenbourg. . . .	146	150
5.	Berlin-Potsdam-Magdebourg. . . .	. . . .	96	51
6.	Berlin-Stettin.	. . . .	134	»
7.	Stettin-Stargard.	. . . .	34	»
8.	Stargard-Posen.	par Kreuz.	170	»
9.	Bonn-Cologne.	. . . .	29	»
10.	Breslau-Fribourg-Schweidnitz. . .	Breslau à Hermsdorf, par Freibourg.	66	»
	Et embranchement	de Konigszelt à Schweidnitz. . .		
11.	Cologne Minden.	par Dusseldorf, Oberhausen, Dortmund, Hamm, Lohne. . .		
	Et embranchement	de Duisbourg et d'Oberhausen à Ruhrort.	194	84
12.	Dusseldorf-Elberfeld.	par Vohwinkel.	26	»
13.	Magdebourg-Cothen-Halle-Leipzig.	. . . .	»	118
14.	Magdebourg-Halberstadt.	par Oschersleben.	22	36
15.	Magdebourg-Wittenberge.	. . . .	106	»
16.	Münster Hamm.	. . . .	35	»
17.	Neiss-Brieg.	. . . .	44	»
18.	Basse Silésie et Marche.	Berlin à Breslau, par Francfort-sur-l'Oder, Hansdorf, Kohlfurt.	388	»
	Et embranchement	de Kohlfurt à Gorlitz.		
19.	Basse Silésie (embranchement de). .	Hansdorf à Glogau.	70	1
20.	Haute Silésie.	Breslau à Myslowitz, par Brieg et Kandrzin, près Kosel. . . .	130	67

1. D'après le tableau de M. Hauchecorne, la statistique du Congrès des chemins de fer allemands
2. Revenus extraordinaires non compris.

ALLEMANDS[1]

LONGUEUR des chemins exploités			LONGUEUR des voies accessoires pr 100 kilomètres de chemin.	DESCRIPTION SOMMAIRE.				PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre.	RECETTE brute de l'exploitation par kilomètre[2], matériel compris.
par les gouvernements.	par les compagnies.	en totalité.		SOUTERRAINS. — Nombre total.	VIADUCS. — Nombre total.	PONTS. — Nombre total.	STATIONS. — Distance moyenne.		
kil.	kil.	kil.					kil.	fr.	fr.
47	»	47	»	»	»	1	5,0	189 928	8 466
42	»	42	»						
58	»	58	»	1	2	174	4,5	397 698	19 396
»	231	231	»	»	»	»	11,0	121 528	16 987
»	:96	296	»	»	18	332	12,3	204 453	19 914
»	147	147	10	»	»	79	13,5	282 660	24 220
»	134	134	13	»	»	13	19,1	118 590	25 530
»	34	34	16	1	»	»	8,5	182 160	7 775
»	170	170	»	»	3	162	15,5	110 429	
»	29	29	14	»	1	4	5,8	149 781	15 405
»	66	66	»	»	»	»	6,6	118 926	12 240
»	278	278	»	»	1	845	8,9	272 018	30 752
»	2	26	»	»	1	20	3,7	345 349	33 996
»	118	118	»	»	»	»	9,0	199 734	41 707
»	58	58	»	»	»	78	7,3	154 938	26 809
»	106	106	»	»	»	26	10.6	199 965	9 032
»	35	35	»	»	»	38	7,0	161 638	9 527
»	44	44	»	»	»	»	6,3	942 26	6 145
388	»	388	»	»	»	»	10,0	202 830	19 919
»	71	71	»	»	»	»	8,0	105 263	4 734
»	197	197	»	»	»	»	9,0	151 078	24 690

et les rapports du Gouvernement et des Compagnies.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des ÉTATS ET DES CHEMINS.	PARCOURS	LONGUEUR des chemins exploités à une voie.	à deux voies.
			kil.	kil.
	Prusse. (Suite.)			
21.	Chemin de l'Est.	Kreuz à Konigsberg, par Bromberg et Dirschau.	388	»
	Et embranchement	de Dirschau à Dantzig.		
22.	Prince Guillaume.	Vohwinkel à Steele.	32	»
23.	Rhénan.	Cologne à Herbesthal (frontière de Prusse), par Aix-la-Chapelle.	20	65
24.	Saarbruck (de).	de la Frontière française, près Forbach, à Neunkirchen (frontière bavaroise), par Saarbruck.	43	»
25.	Thuringe (de la).	Halle à Gerstungen, par Weissenfels, Weimar, Erfurt, Gotha, Ecsenach.	90	99
26.	Westphalie (de l'État de).	Hamm à Warburg, par Sœst et Paderborn.	76	»
27.	Guillaume (Haute Silésie).	Kosel à Oderberg, par Ratibor.	53	»
28.	Chemin de Ceinture à Berlin.		10	»
	Autriche.			
29.	Chemin de l'État du Sud.	Murzznschlag à Laibach, par Gratz.	315	»
30.	Chemin de l'État du Nord.	Olmutz à Bodenbach (frontière de Saxe), par Prague.	470	»
	Et embranchement	Trubau à Brunn.		
31.	Chemin de l'État du Sud-Est.	Marchegg à Szolnok, par Presbourg, Gran, Waitzen et Pest.	332	»
32.	Chemin de l'État de l'Est.	Myslowitz, Szczakowa, Cracovie.	70	»
33.	Chemin de l'Empereur Ferdinaud Nord.	Vienne à Oderberg.	330	83
	Et embranchements	Lundenburg à Brunn. Prerau à Olmutz. Florisdorf à Stockerau. Gänserndorf à Marchegg. Oderberg à Annaberg.		
34.	Vienne à Gloggnitz.	par Modling at Neustadt.	36	48
	Et embranchements	de Modling à Laxenburg, et de Neustadt à Kazelsdorf.		
35.	Vienne à Bruck-sur-Leith.		41	»
36.	Linz-Budweis-Gmunden.	Budweis à Gmunden, par Urfuhr et Zinz.	199	»
37.	Prague-Lahna.		48	»

LONGUEUR des chemins exploités.			LONGUEUR des voies accessoires pr 100 kilomètres de chemin.	DESCRIPTION SOMMAIRE.				PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre.	RECETTE brute de l'exploitation par kilomètre, matériel compris.
par les gouvernements.	par les compagnies.	en totalité.		SOUTERRAINS. — Nombre total.	VIADUCS. — Nombre total.	PONTS. — Nombre total.	STATIONS. — Distance moyenne.		
kil.	kil.	kil.					kil.	fr.	fr.
388	»	388	»	»	»	494	11,4	»	3 819
»	32	32	»	»	4	20	3,6	231 965	12 624
»	85	85	20	5	4	78	7,0	416 849	36 511
43	»	43	»	»	»	»	8,6	»	»
»	189	189	»	2	6	429	11,1	278 418	19 437
76	»	76	»	»	»	139	6,3	»	7 975
»	53	53	»	»	»	62	6,0	101 712	15 100
10	»	10	»	»	»	»	»	»	»
315	»	315	»	»	»	»	7,9	278 830	26 520
470	»	470	»	»	»	»	9,2	238 800	23 120
332	»	332	»	»	»	»	10,7	179 890	26 830
70	»	70	»	»	»	»	11,7	110 600	7 139
»	413	413	»	1	9	708	10,3	224 336	42 069
»	84	84	»	»	»	»	3,3	307 330	46 930
»	41	41	»	»	»	»	4,1		
»	199	199	»	»	»	»	12,4	»	»
»	48	48	»	»	»	»	12,0	»	»

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des ÉTATS ET DES CHEMINS.	PARCOURS.	LONGUEUR des chemins exploités à une voie.	à deux voies.
			kil.	kil.
	États secondaires.			
38.	Bade (chemin de l'État de)..... Et embranchements	Mannheim à Haltingen, près Bâle, en Suisse, par Heidelberg, Carlsruhe, Fribourg...... d'Oos à Baden-Baden, et d'Appenweier à Kehl, vis-à-vis Strasbourg.	80	204
39.	Bavière (chemin de l'État de).... Et embranchement	de Hof à Kempten, par Lichtenfels, Bamberg, Nuremberg, Pleinfeld, Augsbourg........ d'Augsbourg à Munich......	472	8
40.	Nuremberg à Furth........	....	7	»
41.	Louis du Palatinat......... Et embranchement	de Ludwigshafen, sur le Rhin, vis-à-vis Manheim, à Bexbach (frontière prussienne), vers Saarbruck, par Kaiserslautern. de Schifferstadt sur Speyer....	115	»
42.	Brunswick (ch. de l'État du duché de) Et embranchement	Brunswick à Harzbourg..... de Wolfenbuttel à Oschersleben, dans la direction de Magdebourg............	87	12
43	Hanovre (réseau du royaume de)..	Chemins rayonnant de Hanôvre: à Minden, à Brême, à Harbourg, vis-à-vis Hambourg, à Brunswick, à Hildesheim, et à Alfeld dans la direction de Cassel...	298	106
44.	Main-Necker............ Et embranchement	Francfort-sur-le-Mein à Heidelberg par Darmstadt et Friedrichsfeld......... de Francfort sur Offenbach....	89	»
45.	Francfort-Hanau..........	Francfort-sur-le-Mein. Hanau...	16	»
46.	Taunus (du)........... Et embranchement	Wiesbaden à Francfort-sur-le-Mein, par Mayence et Hochst. de Biebrich............	43	»
47.	Hochst-Soden (embr. du Taunus)..	....	6	»
48.	Mein-Weser...........	Francfort près Guntershausen et Cassel............	186	14

1. Non compris 19 kilomètres de Brunswick à Lehrte (frontière du Hanovre), comptés ci-après
2. Compris 57 kilom. construits par les États limitrophes, ce qui réduit les chemins établis par l'État.
3. Exploité temporairement par l'État.

LONGUEUR des chemins exploités.			LONGUEUR des voies accessoires pr 100 kilomètres de chemin.	DESCRIPTION SOMMAIRE.				PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre.	RECETTE brute de l'exploitation par kilomètre, matériel compris.
par les gouvernements.	par les compagnies.	en totalité.		SOUTERRAINS. — Nombre total.	VIADUCS. — Nombre total.	PONTS. — Nombre total.	STATIONS. — Distance moyenne.		
kil.	kil.	kil.					kil.	fr.	fr.
284	»	284	8	3	48	106	5,6	241 470	18 450
480	»	480	»	2	10	61	6,7	190 537	11 307
»	7	7	»	»	»	»	7,0	»	»
»	115	115	25	12	7	308	6,8	212 390	13 750
99	»	99[1]	19	»	»	210	7,0	117 293	23 448
404	»	404[2]	18[2]	»	»	160	7,9	167 728	18 810
89	»	89	»	»	»	»	5,6	259 637	15 414
»	16	16	»	»	»	»	4,0	199 397	12 829
»	43	43	13	»	»	29	6,1	175 710	24 930
»	6	6	»	»	»	»	6,0	»	»
200	»	200	»	»	88	70	8,7	288 770	11 795

dans le réseau hanovrien.
de Hanovre à 347 kilom. — La proportion des voies de garage se rapporte à cette dernière longueur.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS des ÉTATS ET DES CHEMINS.	PARCOURS.	LONGUEUR des chemins exploités à une voie.	à deux voies.
			kil.	kil.
	États secondaires. (Suite.)			
49.	Frédéric-Guillaume du Nord. . . . Et embranchement	Gerstungen à Warburg, par Cassel et Humme. . . . . de Humme à Carlshafen.	128	14
50.	Altona-Kiel.	par Elmshorn et Neumunster. . .	106	»
51.	Gluckstadt-Elmshorn.	. . . .	17	»
52.	Rendsbourg-Neumunster.	. . . .	33	»
53.	Lubeck-Buchen.	. . . .	47	»
54.	Mecklembourg (du). . . . . Et embranchement	Hagenow à Rostock, par Kleinen et Butzow. . . . . de Kleinen à Wismar, et de Butzow à Gustrow.	145	»
55.	Saxe. Leipzig-Dresde.	par Riesa.	115	»
56.	Saxe. Chemin de l'État, Saxe-Bavière.	Leipzig à Hof, par Werdau. . . .	51	126
57.	Saxe. Id. Saxe-Bohême.	Dresde à Bodenbach.	41	25
58.	Saxe. Id. Saxe-Silésie. .	Dresde à Gorlitz, par Bautzen et Lobau.	91	14
59.	Saxe. Chemnitz-Riesa.	. . . .	44	22
60.	Saxe. Lobau-Zittau.	. . . .	34	»
61.	Wurtemberg (chem. de l'État du royaume de).	Heilbronn à Friedrichshafen, par Stuttgard et Ulm.	244	4
62.	Bernbourg-Cothen.	. . . .	20	»
		Totaux. . . .	7081	1 409

1. Exploité temporairement par l'État.

LONGUEUR des chemins exploités.			LONGUEUR des voies accessoires p^r 100 kilomètres de chemin.	DESCRIPTION SOMMAIRE.				PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre.	RECETTE brute de l'exploitation par kilomètre, matériel compris.
par les gouvernements.	par les compagnies.	en totalité.		SOUTERRAINS. — Nombre total.	VIADUCS. — Nombre total.	PONTS. — Nombre total.	STATIONS. — Distance moyenne.		
kil.	kil.	kil.					kil.	fr.	fr.
»	142	142	»	4	50	353	7,1	270 633	8 967
»	106	106	»	»	2	43	7,6	120 861	12 651
»	17	17	»	»	»	8	17,0	100 870	3 608
»	33	33	»	»	1	9	11,0	45 523	5 395
»	47	47	»	»	»	»	7.8	168 547	9 269
»	145	145	»	15	8	189	14,5	163 161	7 031
»	115	115	11	»	»	»	4,4	225 806	34 209
180	»	180	»	»	10	100	9,5	287 913	25 364
66	»	66	»	2	7	164	4,1	297 067	15 208
105	»	105	»	»	16	161	7,0	227 331	18 949
66	»	66	»	1	12	89	4,4	373 903	10 625
34[3]	»	34	»	»	»	»	5,7	273 878	6 667
248	»	248	14	»	»	»	5,3	217 074	13 388
»	20	20	»	»	»	»	10,0	»	»
4 494	3 996	8 490			*Moyennes. . .*		8,1	212 438	19 927

CHEMINS BELGES[1]

NOMS DES LIGNES.	CHEMINS DE L'ÉTAT.			CHEMINS DES COMPAGNIES.			PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre A.
	exploités.	non exploités.	Total.	Exploités.	Non exploités.	Total.	
Ligne du Nord.							
De Bruxelles à Malines et Anvers et branche de raccordement entre les etations du Nord et du Sud à Bruxelles.	53	»	53	»	»	»	268 200
D'Anvers à Rotterdam (partie snr le territoire belge)	»	»	»	30	»	30	
Entre la ligne du Nord et celle de l'Ouest.							
De Malines à Schelle.	»	»	»	»	20	20	
Chemin dn pays de Waes, d'Anvers à Gand.	»	»	»	50	»	50	
De Lokeren à Termonde.	»	15	15*	»	»	»	
Ligne de l'Ouest.							
De Malines à Termonde, Gand, Bruges et Ostende.	123	»	123	»	»	»	155 310
Entre la ligne de l'Ouest et celle du Sud-Ouest.							
Chemin de la Flandre occidentale, de Bruges à Conrtray, Ypres et Poperingho.	»	»	»	100	»	100	
Embranehement d'Ingelmnnster à Deynze par Thielt..	»	»	»	30	»	30	
Chemin de Gand vers Lille et Tonrnay par Courtray.	78	»	78	»	»	»	146 570
De Wetteren à Alost.	»	15	15*	»	»	»	
De Termonde à Ath.	14[2]	41	55*	»	»	»	
De Tournay à Jurbise.	48	»	48*	»	»	»	
De Denderlenw à Bruxelles.	»	25	25*	»	»	»	
Ligne du Sud-Ouest.							
De Bruxelles à Tnbise, Mons, Quiévrain. . .	81	»	81	»	»	»	268 400
Entre la ligne du Sud-Ouest et celle du Sud-Est.							
De Mons à Hautmont près Maubenge (partie sur le territoire belge).	»	»	»	»	15	15	
De Mons à Manage..	»	»	»	25	»	25	
Embranchement eur l'Olive.	»	»	»	5	»	5	
De Manage à Erquelines.	»	»	»	»	25	25	

1. Fin 1854.
2. Termonde à Alost.
3 De Bruxelles à Hulpe.

Le signe (*) indique les lignes exploitées par l'État mais construites ponr son compte par des Compagnies qni entrent en partage dans les recettes.

A. Non compris le matériel roulant, les accessoires de la voie, le mobilier des gares et stations et les frais généraux.

Nous ne donnons que le prix d'établissement des chemins construits par l'État ; il nous a été impossible d'obtenir ces renseignements pour ceux exécutés par les Compagnies

(SUITE.)

NOMS DES LIGNES.	CHEMINS DE L'ÉTAT			CHEMINS DES COMPAGNIES			PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre A.
	exploités.	non exploités.	Total.	exploités.	non exploités.	Total.	
Entre la ligne du Sud-Ouest et celle du Sud-Est.							
De Braine-le-Comte à Charleroy et Namur.	79	»	79	»	»	»	226 200
De Manage à Court St-Etienne	»	»	»	15[1]	20	35	
De Louvain à Charleroy	»	»	»	»	65	65	
De Charleroy à Erquelines (Cie du Nord de France)	»	»	»	30	»	30	
Chemins d'entre Sambre et Meuse. De Charleroy à Vireux	»	»	»	55	»	55	
Chemins d'entre Sambre et Meuse. Embranchement de Berzée à Laneffe	»	»	»	7	»	7	
Chemins d'entre Sambre et Meuse. De Walcourt à Morialmé	»	»	»	12	»	12	
Chemins d'entre Sambre et Meuse. D'Yve à Florence	»	»	»	10	»	10	
Chemins d'entre Sambre et Meuse. De Philippeville (embranchement)	»	»	»	5	»	5	
Chemins d'entre Sambre et Meuse. De Couvin (embranchement)	»	»	»	5	»	5	
De Châtelineau à Morialmé	»	»	»	»	17	17	
Ligne du Sud-Est.							
Chemin du Luxembourg, de Bruxelles à Luxembourg par Namur (partie sur le territoire belge) Cie anglaise du Great Luxembourg	»	»	»	15[2]	178	193	
Entre la ligne du Sud-Est et celle de l'Est.							
De Namur à Liége (Cie du Nord de France)	»	»	»	73	»	73	
De Pepinster à Spa	»	»	»	13	»	13	
Ligne de l'Est.							
De Malines à Louvain, Tirlemont, Liége et la frontière de Prusse	135	»	135	»	»	»	361 930
Entre la ligne de l'Est et celle du Nord.							
Chemin du Limbourg. De Landen à Saint-Trond et Hasselt	11	»	11	»	»	»	121 630
Chemin du Limbourg. De Saint-Trond à Hasselt	17	»	17[3]	»	»	»	
De Contich à Turnhout par Lierre et Herenthal	»	45	45[4]	»	»	»	
Totaux	639	141	780	480	340	820	
	1600 kilom. approximativement.						

1. De Manage à Nivelle.
2. De Bruxelles à la Hulpe.
A. Non compris le matériel roulant, les accessoires de la voie, le mobilier des gares et stations et les frais généraux.

CHEMINS AMÉRICAINS[1]

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMS DES ÉTATS.	NOMBRE des LIGNES.	LONGUEUR des CHEMINS EXPLOITÉS	PRIX TOTAL de premier établissement par kilomètre.
			kilom.	fr.
1.	Maine.	11	678	100 805
2.	New-Hampshire.	16	820	106 510
3.	Vermont.	7	656	114 140
4.	Massachusetts.	43	2053	146 250
5.	Rhode-Island.	1	80	176 445
6.	Connecticut.	15	1071	105 161
7.	New-York.	31	3779	134 837
8.	New-Jersey.	11	699	98 397
9.	Pennsylvania	64	2343	134 815
10.	Delaware.	2	26	124 615
11.	Maryland.	3	956	147 003
12.	Virginia.	21	1077	63 777
13.	North-Carolina.	4	575	65 241
14.	South-Carolina.	9	1058	67 816
15.	Georgia.	15	1415	65 200
16.	Alabama.	6	351	55 464
17.	Mississippi.	4	248	66 847
18.	Louisiana.	8	273	32 598
19.	Texas.	1	»	»
20.	Tennessee.	9	601	70 083
21.	Kentucki.	9	373	71 951
22.	Ohio.	46	4175	65 673
23.	Indiana.	19	1803	67 088
24.	Illinois.	26	2020	79 077
25.	Michigan.	3	912	98 638
26.	Wisconsin.	4	265	72 000
27.	Iowa.	2	»	»
28.	Florida.	2	87	15 574
29.	Missouri.	6	96	56 250
	Totaux et moyenne.	398	28513	96 520

Si on compare les chiffres du tableau des chemins français (page 274) à ceux de l'enquête, on trouve, sur la plupart des che-

[1] Exercice 1853. D'après le *Boston American Railway Journal*

mins, des différences insignifiantes ne dépassant pas 6 à 7 pour 100.

Il n'y a de différence notable que pour le chemin d'Orléans, Strasbourg, Frouard à Metz, Paris à Lyon.

Pour le chemin d'Orléans, le chiffre de l'enquête est de 368,000 fr., le nôtre de 444,000 fr. Nous maintenons le nôtre, parce qu'il renferme les dépenses faites au moment de la fusion (30 juin 1852). Le chiffre de l'enquête correspond probablement à une époque antérieure.

Pour le chemin de Strasbourg, notre chiffre est de 437,000 fr., celui de l'État 394,000 fr. La différence tient à ce que, au moment où le chiffre de l'enquête a été arrêté, une partie notable de la dépense à faire n'était pas encore connue et ne pouvait être évaluée que par approximation.

Pour le chemin de Frouard à Metz, la différence est considérable. Le chiffre de l'enquête est de 278,000 fr.; le nôtre 332,000 fr. Ce dernier, extrait des livres de la Compagnie, doit être considéré comme parfaitement exact.

Pour le chemin de Paris à Lyon, nous avons indiqué pour la dépense moyenne par kilomètre 558,000 fr., l'État 518,000; mais notre chiffre correspond à une époque plus récente et comprend toute la dépense pour le chemin de Paris à Lyon, tandis que celui de l'État ne comprend que la dépense de Paris à Châlon.

Si l'on prend la moyenne des prix de construction dans différents pays, on remarque qu'elle est fort différente.

En Angleterre, la moyenne était, d'après une enquête faite par le parlement à la fin de 1850, de 570,000 fr. par kilomètre, la longueur exploitée n'étant alors que de 10,656 kilomètres. En 1854, la longueur exploitée étant de 11,425 kilomètres, la moyenne[1] était descendue à 530,000 fr.[2]. Et, si l'on ne dépasse pas les devis, ce qui est peu probable, elle se réduira à 450,000 fr. quand tous les chemins projetés seront établis.

[1] D'après le journal d'*Herapath*.

[2] Cette longueur n'est pas la même que celle indiquée dans nos tableaux d'après les documents officiels, puisque cette dernière est de 12,362 kilomètres. Cette différence tient à ce que le journal d'*Herapath* ne fait mention que des chemins dont les actions sont cotées à la Bourse de Londres.

En France, à la fin de 1853, la longueur exploitée étant de 4,000 kilomètres, la moyenne des frais de construction était de 390,000 fr.

En Belgique, d'après les comptes rendus de l'administration belge, à la fin de 1852, pour une longueur de chemins égale à 625 kilomètres, la moyenne de la dépense des chemins construits par l'État était de 270,000 fr. Outre ces 625 kilomètres, 279 l'avaient été par des compagnies.

A la fin de 1852, la longueur des chemins construits en Allemagne, y compris les États lombardo-vénitiens, était, d'après le tableau de M. Hauchecorne, de 8,275 kilomètres, dont 6,651 kilomètres à une voie, et 1,624 kilomètres à deux voies, et la moyenne de la dépense faite par kilomètre de 201,000 fr.

Aux Etats-Unis, en 1853, d'après le *Boston American Railway Times*, la longueur des chemins exploités étant de 28,513 kilomètres, et ces chemins étant tous à une seule voie, la dépense moyenne par kilomètre n'était que de 96,500 fr.

On s'explique aisément les énormes différences des prix de construction dans différents pays et dans un même pays, en les décomposant dans leurs éléments. En voici le détail :

CLASSIFICATION DES DÉPENSES[1].

CHAPITRE I. FRAIS GÉNÉRAUX. (On comprendra dans les frais d'études les dépenses effectuées par l'État antérieurement à la loi qui autorise la construction ou la concession.) En Angleterre, les frais généraux comprennent aussi les dépenses faites pour obtenir du parlement l'acte de concession.	1. Frais d'études.	Frais d'études pour la rédaction des avant-projets avant l'obtention de la concession ; remboursements de frais d'études à divers, indemnités payées aux titulaires de la concession.
	2. Frais et charge de la concession	Frais d'administration avant la concession portés au compte de premier établissement.
	3. Administration. . . .	Dépenses de l'administration générale de la Compagnie afférentes à la construction, jetons de présence et indemnités aux administrateurs, conseils techniques et judiciaires de la Compagnie, personnel de l'administration centrale, frais de bureau et imprimés, publicité, agence à l'étranger, frais de voyages, loyers et indemnités de logement, gratifications, chauffage et éclairage, contributions, assurances, etc.
	4. Direction et conduite des travaux. . .	Appointements de l'ingénieur en chef, des ingénieurs ordinaires, des conducteurs, piqueurs, surveillants de travaux, employés de bureaux, payeurs, etc. Frais de bureaux des ingénieurs, imprimés pour la comptabilité, frais de publicité dans les départements, frais de voyage et déplacement du personnel de la construction, chauffage et éclairage, loyers des bureaux des ingénieurs et de leurs employés, indemnités diverses au personnel de la construction.
	5. Frais divers. .	Frais judiciaires (non compris ceux d'expropriation des terrains), indemnités aux employés congédiés, service médical, secours aux blessés ou aux familles des employés ou ouvriers tués, indemnités de disette, résiliation d'entreprises, habillement des agents, etc.
CHAPITRE II. TERRAINS.	6. Acquisition de terrains. . . .	Prix d'acquisition de terrains par voie amiable ou judiciaire, y compris les indemnités aux propriétaires pour valeur des bâtiments, constructions, plantations, et aux locataires ou propriétaires pour privation de jouissance, perte de récoltes, déplacement d'industrie, etc.
	7. Frais accessoires, indemnités, frais judiciaires	Frais accessoires, indemnités pour occupation provisoire, pour dommages causés par les études de tracé, pour occupation temporaire et extraction de matériaux, frais de rédaction et

[1] D'après les instructions envoyées par M. le ministre des travaux publics aux ingénieurs de l'État pour en dresser le tableau.

CHAPITRE II. TERRAINS. *(Suite).*	7. Frais accessoires, indemnités, frais judiciaires. *(Suite).*	d'impression des plans parcellaires, d'expertises, de rédaction d'actes, frais judiciaires relatifs à l'expropriation.
CHAPITRE III. TERRASSEMENTS. (Ce chapitre comprend tous les travaux exécutés en dehors du chemin de fer et mis à sa charge.)	8. Terrassements y compris les travaux de consolidation	Terrassements, frais de toute nature relatifs à l'exécution des terrassements (non compris les frais de direction et de conduite des travaux et l'acquisition des terrains), travaux en rivière pour consolidation des remblais, murs de soutènement, revêtements en maçonnerie, perrés, gazonnement, semis et plantations des talus, etc.
	9. Ouvrages d'art courants. . .	Aqueducs et siphons pour l'écoulement des eaux, ponts en dessus et en dessous pour passages de routes et chemins, passerelles, ponts sur ruisseaux et rivières non navigables, ponts sur canaux artificiels, ponts tournants, ouvrage divers en maçonnerie, en métal ou en bois, etc.
CHAPITRE IV. OUVRAGES D'ART.	10. Ponts sur rivières navigables. . .	Ponts sur rivières navigables, non compris les terrassements aux abords, y compris les arches supplémentaires, ou viaducs pour l'écoulement des crues.
	11. Viaducs. . .	Viaducs pour la traversée des vallées sèches ou arrosées par des ruisseaux ou rivières non navigables, non compris les terrassements aux abords.
	12. Souterrains..	Percement des puits, excavations des galeries et revêtements en maçonnerie, non compris l'exécution des tranchées aux abords.
	13. Clôtures sèches et vives.	Clôtures proprement dites, murs de clôture, palissades, fossés, treillages et lisses, haies vives.
CHAPITRE V. CLOTURES DU CHEMIN.	14. Maisons de gardes et de cantonniers.	Maisons de gardes des passages à niveau, y compris celles qui sont élevées sur divers points pour le logement des garde-lignes, cantonniers, pontonniers et autres agents préposés à la surveillance et à l'entretien de la voie, puits et accessoires divers de l'habitation. Guérites de garde-lignes et de cantonniers, etc.
	15. Passages à niveau. . .	Pavages et barrières.
CHAPITRE VI. BATIMENTS	16. Gares et stations. . . .	Bâtiments isolés pour l'administration, les bureaux et le logement des employés, bâtiments et halles couverts pour le service des voyageurs et de la grande vitesse; buffets, écuries et remises pour les correspondances, halles et quais couverts et découverts pour les marchandises, estacades

Chapitre	Article	Détail
CHAPITRE VI. BATIMENTS. (Suite.)	16. Gares et stations. (*Suite*.)	pour le déchargement des houilles, bâtiments pour les bureaux du service des marchandises, maisons et guérites des portiers et des surveillants, lieux d'aisance, écuries pour le camionage.
		Pavages des cours et des rues d'accès, travaux de construction pour les grues et appareils divers, etc.
	17. Ateliers et remises du matériel.	Bâtiments pour logement et bureaux du service du matériel (ateliers et dépôts), magasins des approvisionnements, ateliers divers, lieux d'aisance, dépôts et remises de machines, quais à coke, fosses à piquer le feu.
		Remises de voitures et de wagons.
		Bâtiments des machines à vapeur des ateliers, fours à réverbère, fourneaux de chaudières, et divers, usines à gaz (bâtiments, travaux de maçonnerie, fourneaux, cornues et gazomètres).
		Bâtiments des ateliers du petit entretien du matériel.
CHAPITRE VII. MOBILIER.	18. Mobilier des gares et stations.	Meubles des salles d'attente, mobilier des bureaux de l'administration et des gares et stations, appareils d'éclairage, compteurs, becs de gaz, lampes, appliques, lanternes et signaux à la main, calorifères et poêles, chaufferettes pour les voitures, balances et bascules, grues et appareils divers à élever les fardeaux.
		Pompes à incendie, outils et ustensils des gares et stations, horloges des stations, omnibus, voitures de factage, camions appartenant à la Compagnie, etc.
	19. Outillage des ateliers et dépôts.	Machines-outils, machines à vapeur, marteaux, pilons et martinets, machines à vapeur et chaudières (non compris les fondations et fourneaux) grues et engins divers non compris les fondations, chariots roulants des ateliers, des dépôts et des remises, outils et ustensiles des ateliers et des dépôts, paniers et sacs à coke, agrès et outillage des machines et des wagons de secours, ustensiles des graisseurs, signaux des machines, mobilier des bureaux, appareils de chauffage et d'éclairage, pompes à incendie du service du matériel et du magasin, horloges et montres des mécaniciens, etc.

CHAPITRE VIII. VOIE DE FER.	20. Ballast. . . .	Sables et pierres cassées, briques et briqnatons, scories de forges, etc., y compris l'extraction ou la fabrication et le répandage.
	21. Rails, coussinets, chevillettes, etc.	Coussinets, chevillattes, coins, éclisses, sellas, plaques da joints, entre-toises en fer, traverses, longueriues, plateaux en bois ou en fonte, dés en pierres, achats et transports des matériaux divers sur les chantiers.
	22. Pose de la voie.	Transport des chantiers de depôts au lieu d'emploi, mise en place, assemblage, perçage et rivure des rails, dressage de la voie et régalage du ballast, entretian jusqu'au moment de la mise en service.
CHAPITRE IX. ACCESSOIRES DE LA VOIE.	23. Plaques tournantes. . .	Achat, fondation et pose.
	24. Changements et croisements de voie. . . .	Achat on construction et posa, y compris les leviers ou excentriques de manœuvre.
	25. Signaux fixes.	Appareils divers pour signaux, disques à distance des stations, signaux des souterrains, des ponts tournants et des passages a niveau, y compris les lanternes et la pose. Poteaux kilometriques, poteaux indicateurs, etc.
	26. Outillage de la voie. . .	Outils des cantonniers et des gardes, brouettes, lorries, etc. Appareils d'éclairage des passages à nivean, signaux à la main, appareils de chauffage des maisons de gardes, appareils d'éclairage et da chauffage et mobilier des bureaux.
CHAPITRE X. ALIMENTATION DES MACHINES.	27. Machines à vapeur et pompes à bras. . .	Machines à vapeur, machines, chaudières, fourneaux, fondation at bâtiments, pompes, réservoirs d'air, tuyaux d'aspiration et de refoulement, pompes à bras fixes on portatives.
	28. Grues hydrauliques. . . .	Grues à colonne, grues appliques, y compris fondation et pose, grues-réservoirs, nou compris les conduites souterraines.
	29. Réservoirs, tuyaux, puits et prises d'eau.	Réservoirs en tôle, en fonte, en bois, etc., y compris les supports en maçonnerie ou en charpente, bassins en maçonnerie, puits et prises d'eau en rivière, conduites. Valves at robinets de distribution, achat et pose.
CHAPITRE XI.	30. Télégraphe électrique.	Poteaux, cloches, supports, tendeurs, fils, manipulateurs, récepteurs, sonneries, piles, etc., achat et pose.

CHAPITRE XII.	31. Machines locomotives et tenders. . .	Machines, locomotives, tenders.
	32. Voitures et waggons.	Voitures de voyageurs, waggons de service, waggons à marchandises.
CHAPITRE XIII.	33. Dépenses non classées.	Dépenses non classées.
CHAPITRE XIV.	34. Intérêts payés pendant la construction.	Intérêts des actions et des obligations payées sur le capital, intérêts pour versements anticipés. — Déduction faite des intérêts reçus pour placements de fonds.
CHAPITRE XV.	35 Approvisionnements et fonds de roulement.	Approvisionnements et fonds de roulement.

Nous voudrions pouvoir indiquer le chiffre de la dépense correspondante à ces différents titres pour les principales lignes en exploitation; mais il serait bien difficile de trouver dans la comptabilité des compagnies les renseignements nécessaires pour l'établir; il est impossible d'ailleurs d'obtenir de ces compagnies l'autorisation de se livrer à de pareilles investigations.

Nous sommes donc forcé de nous borner à présenter l'aperçu des frais de construction tels qu'ils ont été classés dans les comptes rendus publiés ou qui nous ont été communiqués officieusement.

L'étude attentive des détails des prix de revient, tout incomplets qu'ils sont, n'en sera pas moins très-utile, nous en tirerons des conséquences qui ne seront pas sans intérêt pour les ingénieurs chargés de rédiger les devis de nouvelles lignes.

L'étude des tableaux qui précèdent conduit à se rendre exactement compte des causes de la différence qui existe dans les prix de construction des chemins de fer dans différents pays.

L'établissement des chemins anglais a été grevé d'une nature de dépense inconnue dans les autres pays, ce sont les frais pour l'obtention de la concession au Parlement. Pour plusieurs des chemins portés au tableau, ces frais paraissent assez modérés, mais pour d'autres ils ont été excessifs. D'après plusieurs ouvrages publiés en Angleterre, les frais en parlement ont été, pour le chemin de Blackwall, de 200,000 fr. par kilomètre; de Manchester à Birmingham, 81,000 fr.; de Brighton, 75,000 fr.

Les frais généraux semblent devoir varier entre des limites fort étendues; cependant on remarque que pour nos grandes lignes ils n'ont pas été moindres de 12,000 fr. et plus élevés que 21,000 fr.

En Angleterre, les terrains ont généralement coûté plus cher qu'en France, en Belgique et en Allemagne. Ainsi la dépense par kilomètre, pour les grandes lignes de Londres à Birmingham, Londres à Bristol, North-Middland et Londres à Brighton, a été, en nombres ronds, de 98,000 fr., 77,000 fr., 100,000 fr., 127,000 fr., et, pour le chemin de second ordre de Manchester à Birmingham, elle a atteint le chiffre énorme de 254,000 fr.

En France, sur nos grandes lignes du Nord, de l'Est, de Paris au Havre et de Paris à Lyon, elle a été seulement de 47,000 fr., 54,000 fr., 72,000 fr. et 80,000 fr.[1].

Sur d'autres chemins, tels que ceux d'Andrezieux à Roanne, Montpellier à Nimes, Amiens à Boulogne, Tours à Nantes, elle a varié de 18,000 fr. à 44,000 fr. Plusieurs de ces chemins, à la vérité, sont à une seule voie, mais le terrain a été acheté pour deux voies.

Sur les chemins de Paris à Orléans et de Corbeil, formant la partie la plus coûteuse de la grande ligne de Paris à Bordeaux, cette dépense n'a pas dépassé 69,000 fr. Sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), elle a été, à la vérité, de 106,000 fr. et de 83,000 fr.; sur celui de Versailles (rive gauche), elle a atteint

[1] Moyenne de la dépense faite pour le chemin de Rouen et pour celui du Havre.

la somme de 177,000 fr., et sur celui de Vincennes, dont 3 kilomètres sur 13 ont été établis dans l'intérieur même de la capitale, 225,000 fr.; mais ces chemins, construits aux abords de Paris, se trouvent dans des conditions exceptionnelles et ne devraient être comparés qu'aux chemins anglais de Blackwall et de Greenwich, qui ont coûté beaucoup plus cher.

En Belgique, les frais d'acquisition de terrains pour les lignes du nord et de l'ouest n'ont pas atteint 40,000 fr., et, pour le réseau de l'est et du sud, 66,000 fr. Le terrain pour le raccordement du nord et du sud a coûté 177,000 fr.; mais c'est encore là un chemin exceptionnel construit, pour ainsi dire, dans les faubourgs de Bruxelles.

En Allemagne, on a obtenu les terrains à meilleur marché encore qu'en Belgique; ce n'est que sur quelques lignes que la dépense d'acquisition a atteint le chiffre de 30 à 35,000 fr. par kilomètre; sur la plupart des autres elle n'a été que de 15 à 16,000 fr.

Le faible chiffre de cette dépense tient à ce que les chemins allemands, construits, pour la plupart, à une seule voie, et desservant un trafic beaucoup moins important que les chemins anglais et français, occupent beaucoup moins de terrains, et au prix très-sensiblement moins élevé du terrain en Allemagne que dans les deux autres pays; ainsi l'hectare de terrain n'a coûté en Allemagne que de 2 à 4,000 fr., tandis qu'il est porté pour les chemins anglais de 15 à 20,000 fr., et qu'il a été payé sur le chemin d'Orléans 12,800 fr.[1]; sur celui de Saint-Étienne à Lyon 20,000 fr.[2]; sur celui de Strasbourg, entre Paris et Meaux, les prix ont été assez variables : l'hectare, dans Paris, a coûté en nombres ronds 830,000 fr., ce qui fait 82 fr. le mètre; à la Chapelle, 91,000 fr.; à la Villette, 19,000 fr.; aux environs de Noisy-le-Sec, 14,000 fr.; aux environs de Lagny, 25,000 fr.; près de Dammard, 6,000 fr.; près d'Esbly,

[1] Ce prix est un prix moyen pour toute la ligne et comprend l'indemnité payée pour les terrains dans l'intérieur de Paris ou aux environs; si l'on en distrait le prix des terrains dans Paris et aux environs, le prix de l'hectare se réduit à 10,000 fr.

[2] Sur ce chemin, le premier construit en France pour un transport de voyageurs, les terrains ont été taxés par le jury à un prix exorbitant. On est loin d'avoir payé des prix aussi élevés pour les terrains des nouvelles lignes.

8,000 fr.; dans la traversée de Meaux, 60,000 fr., et aux environs de la ville, 12,000 fr.

Quant aux chemins américains, qui ne figurent que dans nos tableaux d'ensemble, ils ont été établis sur des terrains dont une partie a été cédée gratuitement.

Sur les chemins anglais, les travaux d'art ainsi que ceux de terrassement et de pose de la voie étant ordinairement confiés à un seul et même entrepreneur, les comptes rendus des Compagnies n'indiquent que la dépense en bloc. Il est facile de reconnaître cependant que cette dépense, en ce qui concerne les travaux d'art et les terrassements des grandes lignes en Angleterre, est beaucoup plus élevée que sur les chemins des autres pays. Si l'on déduit de 100 à 120,000 fr. pour la chaussée, la voie et ses accessoires, on trouve que sur les chemins de North-Middland, elle n'a pas été moindre de 350,000 fr. à 400,000 fr. par kilomètre, et sur les chemins de Londres à Brighton et Londres à Bristol moindre de 400,000 fr. à 450,000 fr.

En France, elle n'a été, sur le chemin du Nord, que de 67,000 fr., sur ceux de Strasbourg et d'Orléans, que de 110,000 à 120,000 fr., et sur les chemins de Lyon, de Rouen et du Havre, de 200,000 à 220,000 fr.

En Belgique, la même dépense a été fort modérée; nous la trouvons de 52,000 fr. environ pour le chemin de l'Ouest, 62,000 fr. pour ceux du Nord, 88,000 fr. pour ceux du Midi, et 200,000 fr. pour ceux de l'Est. En moyenne, elle est de 104,000 fr.

En Allemagne, elle est faible aussi et très-variable. Pour une partie des chemins prussiens, elle ne dépasse pas 30,000 fr.; pour le chemin de Berlin à Potsdam, elle est de 62,000 fr. Les terrassements et ouvrages d'art des chemins rhénans ont seuls coûté 247,000 fr. Les lignes du Nord et du Sud en Autriche ont dépassé pour les ouvrages de même nature de 110 à 120,000 fr. Mais celles du Sud-Est et de l'Est n'ont dépensé que 62,000 et 29,000 fr. Dans le grand-duché de Bade, les ouvrages d'art et de terrassements ont coûté en moyenne 62,000 fr. par kilomètre; dans le Wurtemberg, 72,000 fr.; dans le Hanovre, 38,000 fr., et dans le Brunswick, 18,000 fr.

Le prix élevé des terrassements et des ouvrages d'art pour les grandes lignes d'Angleterre tient au soin avec lequel ont été construites ces voies du premier ordre, à une époque où on s'exagérait l'importance des faibles pentes, au prix de la main-d'œuvre et aux difficultés d'exécution qu'elles ont présentées. Les différences de prix entre la France et l'Angleterre ne sont toutefois pas aussi grandes qu'on pourrait le supposer. « Après avoir consulté plusieurs ingénieurs français, dit M. Robert Stephenson dans un rapport sur les chemins de fer du Nord, et avoir fait des comparaisons entre leurs devis et les miens, j'ai trouvé que les différences de prix entre les deux pays étaient excessivement minimes. On peut regarder comme identiquement les mêmes les prix de terrassement et de maçonnerie dans les deux pays, et le prix du fer est beaucoup plus élevé en France qu'en Angleterre. La main-d'œuvre est certainement moins chère qu'en Angleterre, mais l'étendue des entreprises qui sont maintenant en projet ou en cours d'exécution tend à la faire monter, et les frais de travaux terminés à l'époque actuelle prouvent que cette différence n'est réellement que nominale. »

En Belgique, la main-d'œuvre et les matériaux de construction sont à des prix bien moins élevés qu'en France, c'est ce qui explique le coût, relativement minime, des ouvrages d'art et de terrassement. Il en est de même en Allemagne, où la journée du terrassier, payée en France de 2 à 3 fr., ne coûte pas au delà de 1 fr. à 1 fr. 50. On devra observer aussi que dans ces deux pays une partie des travaux de terrassement n'ont été exécutés que pour une seule voie, et qu'en Allemagne surtout on ne s'est pas assujetti à des conditions de pentes et de courbure aussi rigoureuses qu'en France.

Aux États-Unis, les ingénieurs ayant établi les chemins de fer avec des pentes plus fortes encore que celles des chemins allemands et des rayons de courbure plus petits, les travaux d'art et de terrassement ont dû coûter moins encore qu'en Allemagne.

M. Maniel, dans son cours à l'École des ponts et chaussées, indique de la manière suivante le prix des terrassements sur différents chemins de fer :

MOYENNE DES FRAIS DE TERRASSEMENT PAR KILOMÈTRE [1].

Chemins belges	9,000 fr.
Saint-Quentin	52,000
Rouen	30,000
Tours à Poitiers	99,000
Moyenne de quelques chemins anglais	130,000
Sur le chemin de Mulhouse les frais seront d'environ	40,000

MOYENNE DU PRIX PAR MÈTRE CUBE DE TERRASSEMENT, TRANSPORT DES TERRES COMPRIS.

Chemins belges	0f,76
Ligne de Saint-Quentin	1 ,39
— d'Orléans	1 ,50
— de Rouen	1 ,60
— de Nimes	1 ,45
De Tours à Poitiers, les terres étant transportées à des distances atteignant 4,000 mètres	2 ,05
Chemins anglais, déblais en partie dans le rocher	2 ,61

Si la dépense pour les terrassements par kilomètre sur les chemins belges a été aussi faible, cela tient au cube très-réduit de ces terrassements, à la petite distance de transport des terres, et au prix peu élevé de la main d'œuvre en Belgique. Ainsi, d'après M. Maniel, le cube des terrassements sur les chemins belges n'aurait été, par kilomètre, que de 12m,60, tandis que sur le chemin de Creil à Saint-Quentin il a été de 25 ; sur celui de Rouen, de 25m,50 ; d'Orléans, de 33, et de Versailles, rive gauche, de 72.

Les rails en fer et les coussinets en fonte revenant en Angleterre à un prix sensiblement plus faible que sur le continent, et les traverses en sapin n'y coûtant pas très-cher, les frais d'établissement de la voie et de ses accessoires ont dû être plus faibles, mais la différence n'a pu compenser celle que nous avons signalée dans les dépenses pour les terrains, les ouvrages d'art et les ouvrages de terrassement.

En France, l'établissement de la voie a dû coûter plus qu'en Belgique et en Allemagne, par ces raisons que la plupart des chemins y sont à deux voies, que les rails y sont ordinairement plus lourds, et que le trafic y nécessite une plus grande longueur de voies de garage ainsi qu'un plus grand nombre de changements de voie et de plaques tournantes.

[1] Voir de nouveaux renseignements, page 312.

Aux États-Unis, la voie simple a été construite avec une grande économie en associant le bois au fer, mais elle est moins durable.

Le prix des machines et des waggons, celui des machines surtout, n'est pas sur les différents points du continent aussi variable que celui des terrains et des matériaux pour les travaux d'art ou pour l'établissement de la voie. C'est même en Angleterre qu'a été achetée une grande partie du matériel roulant des chemins belges et allemands. Il en résulte qu'à égalité de trafic la dépense a été partout à peu près la même, soit de 20,000 à 30,000 fr. par kilomètre pour des lignes d'un revenu médiocre (18,000 à 20,000 fr. par kilomètre), et de 50,000 à 60,000 fr. pour celles d'un grand revenu (40,000 à 50,000 fr. par kilomètre).

Après avoir comparé les tableaux de la dépense dans différents pays, il convient de les étudier isolément. Nous nous rattacherons plus particulièrement à l'examen des tableaux des frais de construction des chemins français et des chemins allemands, sur lesquels nous avons pu donner le plus de détails.

Un fait nous frappe tout d'abord à l'examen de ces tableaux, c'est que c'est bien moins le prix de la voie en fer, qui rend parfois les chemins de fer si coûteux, que celui des terrains et des travaux de toute nature.

Ainsi, pour le chemin du Gard, établi sur un terrain de peu de valeur, dans un pays où la main-d'œuvre est peu coûteuse et dans d'assez bonnes conditions d'exécution, le prix total par kilomètre n'étant que de 211,000 fr., les frais d'acquisition de terrain n'ont pas atteint 19,000 fr., tandis que pour le chemin du Havre, dont les profondes tranchées et les remblais élevés couvrent de grandes surfaces de terrain, ces mêmes frais s'élèvent à 103,000 fr.; pour le chemin de Saint-Germain, qui occupe des terrains précieux, à 106,000 fr., et pour celui de Versailles, rive gauche, dont les immenses travaux ont entamé un nombre considérable de grandes propriétés, au chiffre énorme de 177,000 fr.

On ne manque pas d'observer également une notable différence entre le chiffre de la dépense pour les travaux d'un chemin construit en plaine, presque toujours au niveau du sol, comme le chemin de Metz à Thionville (53,000 fr.), et le chiffre correspondant,

pour une ligne établie dans des conditions d'exécution difficiles, comme le chemin du Havre (220,000 fr. environ[1]), ou le chemin de Versailles, rive droite (313,000 fr.); et ce n'est pas seulement le volume des terrassements et des maçonneries qui entraîne dans des frais de construction considérables; sur le chemin de Strasbourg, les travaux de consolidation des talus d'une seule tranchée (celle de Gagny) ont coûté 335,632 fr. 85 c.; sur les deux chemins de Versailles, et plus particulièrement sur celui de Versailles, rive gauche, on a été forcé de dépenser des sommes importantes pour s'opposer au mouvement des terres, et pour assurer la fondation des ponts sur des terrains glaiseux.

Au Val-Fleury, sur le chemin de la rive gauche, les remblais sont assis sur un sol tellement mobile, que l'on eût été forcé peut-être de renoncer à exploiter la ligne, si on ne les eût remplacés temporairement par des estacades en charpente.

Les frais d'établissement de la voie, ordinairement moins élevés que ceux d'acquisition des terrains et des travaux d'art ou de terrassement, sont aussi moins variables. Ainsi, lorsque nous voyons dans nos tableaux, pour des chemins de première classe à deux voies, les frais d'acquisition de terrain réunis à ceux des travaux d'art et de terrassement, varier de 170,000 fr. (Orléans et Corbeil) à 525,000 fr. (chemin du Havre) par kilomètre, nous trouvons que ceux d'établissement de la voie et de ses accessoires n'ont différé qu'entre les limites de 80,000 fr. (Strasbourg à Wissembourg), et 136,000 (Paris à Lyon), et cette différence eût été moins grande si on eût employé sur le chemin de Wissembourg des rails du poids de 38 kilogrammes par mètre courant, au lieu de rails de 30 kilogrammes[2].

Les ingénieurs étant d'accord pour adopter, dans la construction des grandes lignes, des dimensions de rails, de traverses et des épaisseurs de chaussée à peu près semblables, la différence dans les prix de la voie ne provient généralement, quand on compare des

[1] En en déduisant 117,000 fr. pour la voie et ses accessoires.

[2] Il est vrai qu'au chemin de Versailles (rive droite) le kilomètre a coûté, sans les accessoires, 154,000 francs. Mais la superstructure de ce chemin ayant été pour ainsi dire refaite après l'ouverture, on doit le considérer comme se trouvant dans des conditions exceptionnelles.

lignes de même ordre, que de celle qui existe entre les prix des matières premières.

Cette différence, pour le fer et la fonte, n'est pas très-sensible dans les diverses provinces d'un même pays, aux mêmes époques; mais elle varie considérablement avec les époques. Ainsi les rails du chemin de Saint-Étienne, en 1828, ont coûté 50 fr. les 100 kilogrammes. Ceux des chemins de Saint-Germain et Versailles, dix années plus tard, étaient payés 42 fr. En 1840, on achetait encore des rails pour certaines fractions du chemin du Nord, au prix de 40 fr.

En 1846, la Compagnie de l'Est a traité pour ses fournitures de rails à raison de 35 fr. les 100 kilogrammes, rendus sur ses chantiers. En 1852, la même Compagnie ne payait plus les rails nécessaires pour le chemin de Metz à Thionville que 25 fr., et, en 1857, elle achetait 8,000 tonnes pour le chemin de Paris à Mulhouse à raison de 27 fr. à l'usine, soit de 28f,50 à 29 fr. sur les chantiers. D'autres Compagnies les payaient à la même époque 29 fr. sur la ligne. Il est probable que dans l'avenir le prix de 30 fr. ne sera pas dépassé, et que souvent on pourra traiter à des prix inférieurs. Le prix des coussinets en fonte a varié comme celui des rails. La Compagnie de Saint-Germain et celle de Versailles payaient, en 1838, leurs coussinets 35 fr. le quintal métrique; celle de l'Est, en 1852, payait 16 fr. (pour le chemin de Thionville), et 20 fr., en 1854, pour le chemin de Mulhouse.

Le prix des traverses en bois varie non-seulement avec les époques, mais encore avec les localités. Ainsi les traverses que la Compagnie de l'Est payait, en 1846, pour le chemin de Metz à Sarrebruck, 75 fr. le mètre cube, n'ont été payées, en 1852, pour le chemin de Metz à Thionville, que 44 fr. le mètre cube, et, sur le même point de Metz, elles valent aujourd'hui 55 fr. Les traverses payées en 1854, à Paris, 75 fr. le mètre cube, se vendaient, la même année, près de Vesoul, 55 fr.

Le prix des matériaux composant la chaussée ne varient guère que suivant les localités; mais les variations sont considérables. Le sable, qui, sur le chemin de Saint-Germain, n'a pas coûté plus de 2 fr. le mètre cube, est revenu, sur le chemin de Lille à la frontière belge, à 10 fr.

Si donc nous supposons un chemin établi avec des matériaux revenant à des prix élevés, tels que celui de 10 fr. par mètre cube de ballast (prix payé au chemin de Lille);

35 fr. par quintal métrique de rails (prix payé pour la ligne de Strasbourg);

25 fr. par quintal métrique de coussinets (prix payé pour la ligne de Strasbourg);

80 fr. par mètre cube de traverses (prix payé également par la Compagnie de l'Est pour les portions de chemins dans le voisinage de Paris); et qu'on en compare la dépense avec celle d'un chemin à deux voies qui aurait été établi à peu près dans les conditions du chemin de Metz à Thionville, on trouve sur le ballast seul, la différence étant de 8 fr. par mètre cube, et le cube étant de 6 mètres par mètre courant. . . . . 48,000 fr.

Sur les rails, la différence étant par quintal métrique de 15 fr., et le poids par mètre courant pour les 4 files de rails étant de 132 kilogrammes. . . . 19,760

Sur les coussinets, la différence étant par quintal métrique de 7 fr., et le poids par mètre courant, de 40 kilogrammes. 2,800

Sur les traverses enfin, la différence étant par mètre cube de 36 fr., et le cube par mètre courant étant de 2/10 de mètre cube. 7,200

En tout. . . . . . . 77,760 fr.

Mais la différence sur le ballast que nous avons indiquée est exceptionnelle; en supposant le ballast au même prix sur les deux chemins, la différence pour la deuxième voie, par mètre courant, n'est plus que de 29,760 fr.

C'est à peu près le chiffre de la différence entre le prix du mètre courant de double voie (voies de garage non comprises) sur le chemin de Strasbourg et sur celui de Metz à Thionville.

La dépense pour le matériel dépend essentiellement de l'importance du trafic. Nous avons déjà fait remarquer qu'elle varie de 20,000 fr. à 60,000 fr., selon le trafic.

Toutefois, pour des chemins établis aux environs d'une capitale, tels que les chemins de Saint-Germain et de Versailles, qui exigent

un matériel exceptionnel pour les jours de fêtes, cette dépense s'élève jusqu'à 120,000 fr. (Saint-Germain), et même 150,000 fr. par kilomètre (Versailles, rive droite).

A égalité de trafic, les frais de matériel à différentes époques ont peu varié. Le prix de revient des machines n'a pas subi de réduction comme celui des rails. Cependant il ne faudrait pas croire que ce prix est à peu près invariable. Les machines que la Compagnie de l'Est payait en 1846 de 45 à 48,000 fr. en coûtent aujourd'hui de 50 à 55,000. Les machines Crampton, payées 52,000 fr., au commencement de 1852, se vendent aujourd'hui 66,000 fr.

De ce qui précède il résulte que si l'on divise, comme l'a fait la loi du 11 juin 1842, la dépense d'établissement des chemins de fer en deux parties :

L'une comprenant les dépenses pour les terrassements, les ouvrages d'art et les stations ;

L'autre la dépense pour la superstructure et le matériel de l'exploitation ;

On reconnaît que la première partie, mise par la loi de 1842 à la charge du gouvernement, est non-seulement plus élevée, mais encore plus variable que la seconde.

Le capital d'établissement des chemins de fer augmente avec le trafic, car il ne serait pas juste de prélever sur les produits de l'exploitation les sommes nécessaires à un accroissement de trafic qui n'avait pas été prévu lors de la rédaction des devis. Le tableau des pages 304 et 305, qui fournit l'indication des dépenses faites au chemin d'Orléans lors de son ouverture, et celle des dépenses faites depuis lors, montre assez sur quels chapitres les augmentations de capital ont lieu et dans quelle proportion avec le trafic. Ainsi l'on voit que la dépense pour travaux d'art et de terrassements reste à peu près invariable, tandis que celle pour acquisitions de terrains, pour la voie et ses accessoires, pour les ateliers et les bâtiments de stations et celle pour le matériel roulant ont considérablement augmenté. L'accroissement sur les dépenses des terrains, de la voie ou accessoires de la voie et des bâtiments tient surtout à l'agrandissement forcé des gares. Le surcroît des frais pour le matériel roulant est dû à l'allongement des parcours des convois.

CHEMIN DE FER DE PARIS A ORLÉANS, AVEC

Fonds social, 40 *millions* ; 1er *emprunt*, 10 *millions* ;

(La section de Paris à Corbeil a été ouverte à l'exploitation

COMPTE DE PREMIER ÉTABLISSEMENT

NATURE DES DÉPENSES.	PROJET PRIMITIF[1] par M. Defontaine, ingénieur en chef. 1837.	EXÉCUTION PAR M. JULLIEN, ingénieur en chef. État des dépenses faites et de celles restant à faire[2]. 29 février 1844.	État des dépenses faites, dressé à l'occasion de la fusion de la compagnie d'Orléans 30 juin 1852.
Longueur des chemins.	kil. 126,3	kil. 132,7	kil. 132,7
	fr.	fr.	fr.
Service des travaux : Personnel ; frais d'études, de tracés, et dépenses diverses.	776 800	1 110 022	1 103 342
Acquisitions de terrains, indemnités et frais.	1 500 000	7 175 000[4]	8 491 630[5]
Terrassements ; travaux de consolidation ; ballastage.	5 234 000	10 436 087[5]	10 498 345
Ouvrages d'art.		4 530 227[6]	4 553 441
Constructions diverses. Maison d'administration à Paris.		283 625	477 054
Constructions diverses. Atelier de construction et de réparation du matériel, avec leur outillage (à Ivry).	3 056 000	757 209[7]	1 518 159
Constructions diverses. Gares, stations, prises d'eau, plantations, clôtures, etc. . . .		4 753 450[8]	6 718 144
Matériel d'exploitation.	884 000	5 336 788[11]	7 707 494
Voie en fer. Établissement des voies et de leurs accessoires.	10 549 200	13 616 260	14 892 221
Ensemble des dépenses comprises dans le projet primitif.	22 000 000	47 998 668	55 959 830
Voie en fer. Surveillance et entretien de la voie entre Juvisy et Orléans pendant 1844 (3/5 des frais de		360 750[12]	401 311
Bâtiments ; matériel et voie. — Dépenses de renouvellement.		»	1 736 757[13]
Mobiliers divers.		265 740	444 493
Intérêts des actions et des obligations, déduction faite de diverses recettes.		607 415	302 886
Administration de la Compagnie.		688 561	733 677
Totaux.		49 921 134	59 578 954

Augmentation définitive. . . .

EMBRANCHEMENT DE JUVISY A CORBEIL.

2e *emprunt*, 10 *millions*; *capital total*, 60 *millions*.

le 20 septembre 1840; et celle de Juvisy à Orléans le 4 mai 1843.)

ET DE MISE EN EXPLOITATION.

AUGMENTATION DE LA DÉPENSE de fin février 1844 à fin juin 1852.	
Augmentation absolue.	Rapport de l'augmentation à la dépense, fin février 1844, comptée pour 100.
»	»
Diminution[3].	
1 316 630	18,3
62 258	0,5
23 214	0.5
193 429	68,1
760 950	100,4
1 964 694	41,3
2 370 706	44,4
1 275 961[10]	9,3
40 561	11,2
1 736 757[13]	∞
178 753	67,2
Diminution[14]. 45 116	6,5
9 969 029	20,0
Diminutions à retrancher. 311 209	
9 657 820[3, 14]	19,3

OBSERVATIONS.

1. Ce projet, distribué aux Chambres, différait peu de celui qui a été exécuté. L'embranchement de Corbeil était établi sur la rive droite de la Seine; le tracé était rectiligne entre Étampes et Orléans; le point d'origine, à Paris, était place Walhubert. Les inclinaisons du profil en long étaient limitées à 0m.003, et les courbes n'avaient pas moins de 1000 mètres de rayon. La voie, double partout, devait être posée sur dés, avec fondation en béton et encaissement en cailloux.

2. Dépenses { faites..... 47 519 312 fr. / à faire.... 2 401 822 } 49 921 134 fr.

3. Il est probable que la diminution de 6680 fr. dans le service des travaux n'est qu'apparente; elle peut provenir d'une modification dans le classement des dépenses.

4. Valeur de 58 845 hectares, ne comprenant point 80 hectares à revendre, évalués à 575 000 fr.

5. Non compris les propriétés et terrains à revendre, évalués à 309 713 fr.

6. 285 aqueducs, ponceaux, ponts et viaducs, 11 passerelles, 101 passages à niveau. — Les travaux les plus importants sont 4 grands viaducs sur rivières, ayant de 14 à 20 mètres de hauteur et 12 arches ensemble, de 7 à 8 mètres d'ouverture chacune.

7. { Bâtiments........ 510 282 fr. / Outillage......... 246 927 } 757 209 fr.

8. { Terrassements.. 8 094 050 fr. pour 5 111 072 mètres cubes déblai, abstraction faite des remaniements. / Trav. de consolidn 175 940 fr. pour 48 300 mètres cubes perrés et murs de soutènement: compte pour façon et transport des matériaux. / Ballastage ...... 2 166 097 fr. pour 568 948 mètres cubes. }

10 436 087 fr.

9. 2 481 123 fr. pour 21 gares de voyageurs, compris dépendances, accessoires et abords.
985 115 pour 11 gares de marchandises, faites ou à faire, compris cours et rues d'arrivée, avec l'extension à donner à la gare de Paris.
494 142 pour 6 dépôts de machines et 1 petit atelier de réparations à Orléans.
222 573 pour alimentation des machines; puits artésiens; prises d'eau; grues hydrauliques.
297 072 pour clôture de la ligne en treillage.
223 999 pour plantation de haies vives et ensemencement de talus.
49 428 pour mâts de signaux; puits à Toury et à Orléans; différents menus travaux.

4 753 450 fr.

10. Longueur des voies de garage { fin février 1844. 19 100 m. / fin 1853....... 44 375 }

Augmentation. 25 275 m., ou 57 p. 100.

11. La ligne et l'embranchement s'exploitant indépendamment l'un de l'autre, il a fallu acquérir autant de matériel que si la ligne avait 133 kil. + 19 kil. (tracé commun) = 152 kilomètres.

12. Prévisions portées dans le budget pour l'exercice 1844, au compte du premier établissement.

13. Les rails, primitivement de 30 kilog., ont été partiellement remplacés par des rails de 36 kilog. le mètre.

14. Le compte des intérêts payés avant 1854 a diminué de 304 820 fr par diverses recettes réalisées de 1844 à 1852, et venues.

Voir d'autre part le tableau du TRAFIC ANNUEL.

TABLEAU DU TRAFIC ANNUEL

Montrant un accroissement de recette beaucoup plus considérable que celui des frais du premier établissement.

Longueur du chemin de fer : 133 kilomètres.

NATURE DES TRANSPORTS et des RECETTES.	VOIES DIVERSES avant l'ouverture du chemin de fer, vers 1840 [1].			CHEMIN DE FER D'ORLÉANS ET DE CORBEIL — Exercice 1844.			Exercice 1851.		
	Nombre.	Poids.	Recettes brutes.	Nombre.	Poids.	Recettes brutes.	Nombre.	Poids.	Recettes brutes.
		tonnes.	francs.		tonnes.	francs.		tonnes.	francs [3]
Voyageurs	790 000	»	2 136 000	1 373 073	»	4 385 366 [2]	1 063 145	»	4 299 228
Bagages excédants	»	»	»	»	6 952	375 288	»	7 261	485 079
Chiens	»	»	»	11 823	»	9 892	10 500	»	12 394
Marchandises à gr. vitesse	»	200 000	2 624 000	»	4 385	122 362	»	22 924	594 637
Marchandises à pet. vitesse	»			»	127 204	1 429 835	»	338 685	3 617 610
Malles-postes	»	»	»	»	»	»	2 190	»	300 000
Voitures de poste	»	»	»	2 312	»	120 852	1 176	»	75 596
Chevaux	»	»	»	1 070	»	13 245	2 117	»	43 483
Bestiaux	»	»	58 000	24 198	»	93 707	367 959	»	848 098
Entrepôt des dépêches	»	»	»	»	»	»	»	»	20 212
Locations aux Compagnies de Bordeaux et du Centre dans la gare d'Orléans	»	»	»	»	»	»	»	»	178 981
Recettes diverses	»	»	»	»	»	16 140	»	»	»
Totaux		200 000	4 818 000	»	138 541	6 566 687	»	368 870	10 475 318
A déduire : Frais d'exploitation						2 402 840			3 191 490
Recette nette						4 163 847			7 283 828
Nombre des locomotives						52			88 au moins.

De 1844 à 1851 { l'accroissement de la recette *brute* est de 60 pour 100. l'accroissement de la recette *nette* est de 75 pour 100.

OBSERVATIONS.

1. Document résultant de deux enquêtes contradictoires, ordonnées à des époques différentes par le Conseil d'administration de la Compagnie, et faites avec le plus grand soin.

2. Les bateaux à vapeur de Paris à Montereau transportent en outre 120 000 voyageurs.

3. Non compris l'impôt de un dixième payé par les voyageurs sur le prix de leurs places ; la diminution de la recette de 1844 à 1851 s'explique par l'ouverture de la première section du chemin de fer de Paris à Lyon.

Des devis estimatifs des lignes à établir.—La comparaison des devis et de la dépense effective des différents chemins montre assez combien il est difficile de calculer à l'avance les frais d'établissement des chemins de fer. Le tableau suivant fournit les éléments nécessaires pour établir cette comparaison.

TABLEAU COMPARATIF

DU COUT PRÉSUMÉ ET DES DÉPENSES RÉELLES DE CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER

Non compris le matériel pour les chemins belges seulement.

CHEMINS.	DÉSIGNATION DES LIGNES.	Longueur en kilomètres.	DATE de l'ouverture de la ligne entière.	DÉPENSE présumée d'après les devis.	DÉPENSE réelle d'après les comptes rendus.	DATE de l'arrêté de compte.
CHEMINS BELGES.	Bruxelles à Anvers. . .	48	1836	5 000 000	8 500 000	1839
					11 500 000	1852
	Malines à Ostende. . .	123	1839	8 000 000	15 000 000	1840
					19 000 000	1852
	Bruxelles à Quiévrain..	84	1842	11 000 000	16 000 000	1842
					21 700 000	1852
	Braine-le-Comte à Namur.	81	1843	8 000 000	15 000 000	1845
					17 800 000	1852
CHEMINS FRANÇAIS.	St-Germain (le Pecq). .	18	1837	3 900 000	11 000 000	1837
					19 500 000	1853
	Versailles (rive droite).	18	1839	11 000 000	16 800 000	1839
	» (rive gauche).	17	1840	10 000 000	17 200 000	1845
	Paris à Orléans et Corbeil.	133	1843	22 000 000	50 000 000	1844
					59 500 000	1852
	Paris à Lyon.	507	1854	200 000 000	300 000 000	1854
CHEMINS ANGLAIS.	Londres à Birmingham.	181	1838	66 500 000	137 500 000	1839
					149 000 000	1845
	Londres à Brighton . .	74	1841	28 000 000	64 000 000	1842
					66 000 000	1845
	Liverpool à Manchester.	50	1830	12 500 000	20 000 000	1830
					38 000 000	1845
	Manchester à Leeds. . .	82	1841	32 500 000	76 000 000	1842
					78 000 000	1845
	Londres à Grenwich. .	6	1839	10 000 000	17 000 000	1839
					25 000 000	1845
	» à Bristol. . .	190	1841	62 500 000	160 000 000	1842
					168 000 000	1845

Nous avons cru qu'il serait utile de donner le chiffre réel de la dépense, non-seulement à une époque récente, lorsque l'accroissement imprévu du trafic nécessite une augmentation de capital, mais encore au moment de l'ouverture ou à une époque rapprochée quand le trafic différait moins de celui qui avait été supposé au devis.

Le chiffre de la dépense pour les chemins anglais et français a été emprunté aux comptes rendus des Compagnies, celui des chemins belges aux documents publiés par l'État.

L'estimation des dépenses pour l'établissement des railways que nous venons de nommer a été faite, à la vérité, à une époque où l'on ne possédait pas l'expérience acquise aujourd'hui de la construction des chemins de fer.

Il est probable que l'on ne commettra plus désormais les mêmes erreurs, et déjà, pour des lignes récemment construites (chemins de Paris à Strasbourg, de Nancy à Sarrebrück, de Metz à Thionville et de Bâle à Wissembourg), on s'est à peine écarté du chiffre des devis. Nous croyons toutefois utile de faire connaître quelles en ont été les causes principales en Angleterre, telles qu'elles se trouvent indiquées dans le résumé d'une enquête faite sur les chemins de fer de la Grande-Bretagne. En voici l'énumération :

1° Les difficultés rencontrées par les Compagnies pour obtenir l'acte de concession du Parlement, difficultés provenant surtout de la concurrence élevée de Compagnies formées dans un but unique d'opposition par les propriétaires des terrains. La dépense qu'il a fallu faire pour les lever a, pour certaines lignes, même d'une certaine longueur, atteint le chiffre de 75,000 fr. par kilomètre;

2° Les prétentions ridicules émises par les propriétaires de terrains; elles ont, dans certains cas, fait monter l'indemnité pour expropriation à 160,000 fr. par kilomètre;

3° Les folles dépenses faites par certaines Compagnies pour prolonger sans nécessité les chemins de fer dans l'intérieur des villes;

4° L'importance exagérée attachée à la réduction des pentes par certains ingénieurs, qui n'ont pas établi une juste proportion entre la dépense de construction et les frais d'exploitation;

5° La rapidité excessive avec laquelle ont été exécutés certains ouvrages auxquels on a travaillé, à grands frais, jour et nuit;

6° L'incertitude qui règne toujours sur la nature et sur l'importance des grands travaux de terrassement et des grands ouvrages d'art;

7° Les exigences du public relativement aux bâtiments et aux dépendances des stations;

8° L'augmentation subite de la main-d'œuvre et des matières premières par suite de la concurrence;

9° Le défaut d'expérience des ingénieurs et des administrateurs;

10° Le désir des fondateurs de quelques Compagnies de faire valoir l'affaire et de faciliter le placement des actions en réduisant sur le devis les charges de l'entreprise;

11° Les changements, quelquefois importants, apportés au projet après en avoir publié l'estimation;

12° Enfin l'omission dans plusieurs devis des dépenses que nécessite le matériel.

Les paragraphes 2°, 4°, 5°, 6°, 8°, 9°, 10° et 11°, s'appliquent au chemins français aussi bien qu'aux chemins anglais.

Frais généraux. — Pour mieux se rendre compte, du reste, des difficultés que présente l'appréciation des dépenses de construction d'un chemin de fer dans des terrains accidentés, et pour aider les ingénieurs dans l'établissement de leurs devis, reportons-nous à l'analyse de cette dépense présentée plus haut.

Frais d'études. — Le chiffre des frais d'étude classés sous un premier titre est de sa nature fort incertain.

Les études se composent principalement d'opérations sur le terrain, telles que nivellements, triangulation, sondages, tracés de lignes droites ou de lignes courbes, opérations qui sont plus ou moins multipliées, et qui deviennent plus ou moins longues suivant la configuration du terrain, les difficultés d'espèces différentes que peut présenter la division ou la concentration des propriétés, etc.

Les avant-projets envoyés à l'administration des ponts et chaussées pour accompagner une demande en concession doivent se composer de :

1° Un plan général à l'échelle de 1 à 10,000;

2° Un profil en longueur à l'échelle de 1 à 10,000 pour les longueurs, et de 1 à 500 ou à 1,000 pour les hauteurs;

3° Un cahier de profils en travers de 1 à 200 pour les longueurs et les hauteurs;

4° Un tableau du calcul des terrassements;

5° Un tableau des ouvrages d'art avec types de ces ouvrages;

6° Un détail estimatif du projet;

7° Un rapport à l'appui.

La dépense pour l'établissement de ces avant-projets est, en général,

1° Dans des circonstances	difficiles	de 200 fr.	par kilomètre
2° —	ordinaires	de 150	—
3° —	faciles	de 100	—

Les études pour la rédaction du projet définitif, exigeant plus de soin que celles de l'avant-projet, et comprenant, en outre des différents plans, profils, tableaux et rapports ci-dessus énoncés, les plans parcellaires à l'échelle de un millième, et lithographiés à cent exemplaires, ainsi que le piquetage de la ligne, le bornage et le creusement des fossés de limites, sont naturellement plus dispendieuses[1].

Celles du chemin de Paris à Mulhouse ont coûté environ 1,400 fr.[2] par kilomètre. Ce chemin ayant 485 kilomètres de longueur, on a étudié le tracé sur un développement de plus de 1,000 kilomètres. Aux abords de la ville de Provins seulement, on a étudié des tracés dans huit directions différentes sur une longueur de 200 kilomètres.

Les études définitives du chemin de fer de Versailles depuis Asnières ont coûté de 30,000 à 35,000 fr., ce qui porte la dépense de 1,800 à 2,100 fr. par kilomètre.

Celles du chemin de la rive gauche sont revenues à 2,000 fr. environ par kilomètre.

Nos tableaux fournissent le chiffre des frais généraux, *par kilomètre*, pour un grand nombre de lignes construites. L'auteur des documents statistiques observe, du reste, avec raison que, pour se

[1] Voir, pour de plus amples détails, la circulaire du ministre des travaux publics aux préfets, relative à la rédaction des projets et avant-projets, en date du 14 janvier 1850.

[2] Sur ces 1,400 fr., 1,100 environ ont été dépensés pour les études proprement dites, et 300 fr. pour le levé et dessin des plans parcellaires, les extraits des matrices cadastrales et la confection des plans et des états indicatifs d'expropriation et préparation au bornage, ce dernier chapitre comprenant le tracé sur le plan parcellaire des emprises de terrains à exproprier et calculs des surfaces de ces terrains; copie en triple expédition de la minute de plan parcellaire, la fourniture des plans autographiés, les états parcellaires en double expédition, les états indicatifs des terrains en triple expédition, y compris le carton pour le dossier des enquêtes, le rigolage, piquetage et bornage des terrains à exproprier, et enfin la fourniture en double expédition d'extraits du plan parcellaire et des notes descriptives pour le bornage contradictoire dans les actes de vente.

Nous n'avons pas fait entrer dans ces frais d'étude le levé et les calculs des terrains à exproprier après le rigolage, la dépense pour estimation de terrains, la confection, la reliure et le cartonnage du dossier, et le bornage contradictoire des terrains acquis.



rendre un compte exact des frais généraux, il faut plutôt les comparer aux frais totaux d'établissement qu'aux frais par kilomètre, et il trouve qu'en prenant les chemins construits uniquement par les compagnies, ils représentent, en général, de 3 à 7 pour 100 de la dépense totale. La proportion de 5 pour 100, ajoute-t-il, paraît pouvoir être adoptée comme expression de la moyenne.

Les intérêts des capitaux pendant la construction, intérêts que l'on comprend souvent dans les frais généraux, devraient cependant être comptés à part, ainsi que la commission payée au banquier.

La dépense en intérêts est subordonnée, pour chaque ligne, au coût d'établissement, à la durée de la construction et aux taux de l'intérêt servi. Il serait donc assez difficile de l'apprécier à l'avance; aussi se borne-t-on à dire, dans les documents statistiques, qu'elle est généralement inférieure à 5 pour 100 du capital de premier établissement. Nous ajouterons qu'une Compagnie habile à faire valoir ses fonds peut la réduire aisément à 2 ou 3 pour 100.

La commission de banque, pour plusieurs de nos grandes lignes, a été considérable. Nous ne pensons pas toutefois qu'elle ait généralement dépassé 1/2 pour 100 du capital versé; 1/4 pour 100 devrait suffire.

Les frais pour personnel des ingénieurs, conducteurs de travaux, piqueurs, etc., et pour le loyer de leurs bureaux, ainsi que la fourniture, etc., s'élèvent de 7,000 à 20,000 fr. par kilomètre.

Ils dépassent rarement 10,000 fr.

Terrains. — Une autre nature de dépenses portées au devis, celles pour acquisitions de propriétés et indemnités pour dégâts ou dérangements, est, de toutes, la plus difficile à apprécier d'avance.

Ce n'est pas la valeur réelle des terrains traversés que payent les concessionnaires d'un chemin, mais une valeur de convention établie par un jury sur des bases variables. Comment, par exemple, estimer le montant de l'indemnité que réclame un propriétaire et qu'alloue un jury, pour le tort qui résultera de l'interposition d'un remblai devant les fenêtres d'un château, ou le percement d'une tranchée profonde au milieu d'un grand parc?

Le devis approuvé par le gouvernement pour le chemin de Versailles, rive gauche, portait à 177,000 fr. le chiffre de l'indemnité

à payer pour les terrains de la barrière du Maine à Versailles ; la Compagnie a payé pour cet objet 3,016,000 fr.

Pour le chemin d'Orléans, le devis du gouvernement supposait que l'indemnité aux propriétaires ne dépasserait pas la somme de 1,500,000 fr. La Compagnie, pour la seule portion de Paris à Corbeil, a payé au delà de cette somme. L'indemnité pour la ligne entière a été de 8,491,000 fr.

Le jury, qui, aux environs de Paris, estimait les terrains pour le chemin de Mulhouse à un prix qui ne dépassait pas beaucoup la valeur vénale, le taxait en Alsace jusqu'à neuf fois cette valeur.

Le tableau suivant, emprunté aux documents statistiques, indique en même temps, pour un certain nombre de chemins français placés dans des conditions moyennes, la superficie des terrains occupés, le prix de revient de ces terrains et le prix moyen de l'hectare.

DÉSIGNATION DES LIGNES OU SECTIONS DE LIGNES.	LONGUEURS.	SUPERFICIE DES TERRAINS OCCUPÉS.		PRIX DE REVIENT DES TERRAINS.		PRIX MOYEN DE L'HECTARE.
		Totale.	par kilomètre.	Total.	par kilomètre.	
	kil.	hect.	hect.	fr.	fr.	fr.
Andrezieux à Roanne	67	120	1,79	1,225,947	18,298	10,222
Gard	89	287	3,22	1,754,097	19,703	6,121
Montpellier à Nîmes	52	167	3,21	1,750,755	33,668	10,488
Orléans à Bordeaux	461	1,615	3,51	12,069,535	26,181	7,459
Creil à Saint-Quentin	102	389	3,81	4,044,973	39,657	10,409
Amiens à Boulogne	123	467	3,41	5,089,515	41,378	12,134
Centre	320	743	2,32	6,775,713	21,174	9,127
Dieppe et Fécamp	51	198	3,90	1,813,378	35,556	9,117
Montereau à Troyes	100	370	3,70	2,661,753	26,617	7,194
Tours à Nantes	194	731	3,75	8,698,788	44,609	11,896
Lille à Dunkerque	145	546	3,76	5,834,814	40,241	10,702
Frouard à Saarbruck	122	532	4,36	4,383,794	35,933	8,212
Asnières à Argenteuil	4	11	2,75	110,177	27,544	10,016
Totaux et moyennes	1830	6,176	3,37	56,213,259	30,718	9,102

La dépense pour les terrassements dépend de la nature des terres à enlever et de la distance à laquelle on est obligé de les transporter.

Les frais de transport, en tant que l'on emploie les moyens

usités, sont faciles à calculer d'avance [1]. Il n'en est pas de même de la fouille du terrain.

Lorsqu'il s'agit d'ouvrir des tranchées profondes, on commence toujours par reconnaître le terrain au moyen d'un certain nombre de puits plus ou moins profonds ouverts dans l'axe de la tranchée. Mais, d'un côté, en multipliant ces puits au delà de certaines limites, on augmente considérablement la dépense, et, de l'autre, pour peu qu'ils soient éloignés les uns des autres, il ne fournissent sur la nature du terrain que des indices fort peu certains.

Vient-on à rencontrer des terrains ébouleux et remplis d'eau, l'exploitation en est tellement difficile, les accidents auxquels on se trouve exposé dans ce genre de travail sont si fréquents, qu'il est à peu près impossible, même pour les hommes les plus expérimentés, d'établir le chiffre de la dépense.

Sur les chemins de Croydon, North-Eastern, Londres à Birmingham, Paris à Strasbourg, Paris à Lyon, Versailles rive gauche, et beaucoup d'autres, on n'a pu dessécher les parois de certaines tranchées qu'au moyen de travaux fort dispendieux d'établissement et d'entretien.

Les travaux dans les terrains tourbeux n'offrent pas moins d'incertitude, quant au montant des frais de percement, que ceux entrepris dans des terrains ébouleux et aquifères.

M. Julien, ancien ingénieur en chef du chemin d'Orléans, combattant le tracé du gouvernement, a déclaré qu'il lui était impossible d'apprécier d'avance l'étendue de la dépense à faire pour traverser la vallée tourbeuse de la Juine, que suivait ce tracé.

Sur les chemins de Liverpool à Manchester et de Glascow à Garnkirck, on a dépensé des sommes énormes pour traverser de profonds marais. La dépense a de beaucoup dépassé les prévisions des ingénieurs.

Lorsqu'il s'agit de percements au lieu de tranchées, l'appréciation des dépenses est, on le conçoit, plus incertaine encore.

Travaux d'art. — L'estimation de la dépense pour les ouvrages en maçonnerie n'est également pas sans difficultés. C'est surtout

[1] Voir plus loin le tableau dressé par M. Brabant.

dans le calcul de celle des fondations que l'on est sujet à commettre de grandes erreurs.

Les travaux de construction des grandes lignes de chemins de fer devant être poussés avec plus d'activité que les travaux ordinaires et s'exécutant sur une plus grande échelle, il en résulte un renchérissement dans les prix de main-d'œuvre. Aussi est-on dans l'usage d'accorder aux entrepreneurs un supplément aux prix ordinaires. Ce supplément s'est élevé sur plusieurs lignes de 10 à 20 pour 100.

Pour les travaux souterrains et pour la construction des grands viaducs, on porte aussi un prix plus élevé que pour les travaux ordinaires.

Nos tableaux fournissent l'indication des dépenses pour terrassements et ouvrages d'art dans la plupart de nos chemins de fer. Celles d'un certain nombre de ces chemins placés dans des conditions moyennes se trouvent résumées dans le tableau suivant, emprunté aux documents statistiques.

DÉSIGNATION DES LIGNES OU SECTIONS DE LIGNES.	LONGUEURS.	DÉPENSES EN TERRASSEMENTS.		DÉPENSES EN OUVRAGES D'ART COURANTS		DÉPENSES EN TERRASSEMENTS ET OUVRAGES D'ART COURANTS.	
		Totales.	par kilom.	Totales.	par kilom.	Totales.	par kilom.
	kilom.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Amiens à Boulogne. . . .	123	5,473,839	44,503	2,002,212	17,009	7,566,051	61,512
Paris à Strasbourg 2ᵉ sect.	152	6,477,950	42.618	2,675,217	17.600	9,153.167	60.218
Paris à Strasbourg 3ᵉ sect.	105	4,978,313	47.412	1,332.622	12,691	6,310.935	40.103
Paris à Strasbourg 4ᵉ sect.	141	9,611,063	68 164	2,930,688	20,849	12.560,751	89,013
Paris à Strasbourg 5ᵉ sect.	52	1,824,298	35 082	941,045	18,097	2,765 343	53 179
Centre.	320	23,603,387	73 761	9,241,848	28,881	32,845 235	102.642
Orléans à Bordeaux. . . .	461	31,684,107	68 729	9,678,251	20,994	41,362,558	89.723
Tours à Nantes *.	195	20,787,106	106,661	5,124,840	26,281	25.911.946	132,882
Totaux et moyennes. . .	1,549	104,440,063	67,424	34,025,723	21,966	138,465,786	89,390

* L'importance des terrassements et des travaux de consolidation effectués sur cette section explique suffisamment l'élévation de ces dépenses.

Ce tableau fait ressortir la dépense moyenne par kilomètre:

Pour les terrassements, à 67,424 fr., variant de 35,082 fr., 5ᵉ section de la ligne de Paris à Strasbourg, à 106,601 fr., ligne de Tours à Nantes;

Pour les ouvrages d'art courants, à 21,966 fr., variant de 12,691 fr., 3ᵉ section de la ligne de Paris à Strasbourg, à 28,881 fr., ligne du Centre;

Pour les terrassements et les ouvrages d'art courants, à 89,390 fr., variant de 40,105 fr., 3ᵉ section de la ligne de Paris à Strasbourg, à 132,882 fr., ligne de Tours à Nantes.

Il donne encore lieu de remarquer que la part des terrassements, dans la dépense totale pour terrassements et ouvrages d'art, est de 75 pour 100 en moyenne. Cette proportion semble augmenter ou diminuer, suivant que la dépense augmente elle-même ou diminue; ainsi elle est de :

68 p. 0/0	sur une dépense totale de	40,105 fr. à 53,179 fr.	par kilomètre.
70 à 72 p. 0/0	—	60,218 fr. à 61,512 fr.	—
76 p. 0/0	—	89,015 fr. à 89,725 fr.	—
81 p. 0/0	—	132,882 fr. à fr.	—

Sur la ligne du Centre, dont la dépense par kilomètre est de 102,642 fr., la proportion des terrassements n'est, par exception, que de 73 pour 100.

Les dépenses moyennes indiquées au tableau ci-contre s'appliquent à des lignes ou sections de lignes à deux voies; pour obtenir la moyenne applicable aux sections à une voie, les ouvrages d'art étant exécutés pour deux voies, il conviendrait de diminuer d'environ 1/5 la dépense des terrassements, ce qui porterait la moyenne à 75,905 fr., dont 53,939 en terrassements.

Le prix des ouvrages d'art exceptionnels est très-variable. Le grand pont de Nogent-sur-Marne et les viaducs entre lesquels il se trouve compris, dont la longueur, jointe à celle du pont, est d'environ 800 mètres, aura coûté 5,500,000 fr.

Le viaduc de la Voulzie, près de Provins, long de 486 mètres et haut de 17, avec fondations dans la tourbe à 15 mètres de profondeur, 2,200,000 fr.

Le grand viaduc de Chaumont, dont la longueur est de 600 mètres, et la hauteur maxima de 53 mètres, exécuté en moins d'une année avec une excessive rapidité, 5,600,000 fr.

Le viaduc de l'Indre (ligne de Tours à Bordeaux), long de 751 mètres et haut de 22 mètres, a coûté plus de 2,000,000 fr.

Le grand pont sur la Durance (ligne de Marseille à Avignon), long de 533 mètres, 3,000,000 fr.

Le grand pont sur le Rhône, long de 386 mètres, 6,000,000 fr.

Nous avons rassemblé, dans les documents joints à cet ouvrage, un certain nombre de données numériques qui aideront dans l'établissement des devis.

Il résulte de ces renseignements : 1° que des viaducs de 15 à 20 mètres de hauteur coûtent ordinairement de 100 à 150 fr. le mètre superficiel, fondation non comprise, et les viaducs très-élevés, de 150 à 250 fr.

La dépense pour les fondations peut, dans certains cas, augmenter très-sensiblement de prix de revient. A la Voulzie, près Provins, sur le chemin de Mulhouse, les fondations étant très-profondes et ayant présenté de grandes difficultés en exécution, le mètre superficiel, en ne tenant compte que de la dépense des maçonneries au-dessus du sol, a coûté 125 fr., et, en ayant égard à la dépense faite pour les fondations, 220.

2° Que des souterrains, pris dans les conditions les plus favorables des chemins bavarois pour les chemins à une voie, ont coûté de 250 à 300 fr. le mètre courant.

3° Que des souterrains beaucoup plus longs, dans de bons terrains pour le passage des chemins à deux voies, ont coûté de 500 à 1,000 fr. le mètre courant.

4° Que des souterrains, longs de 500 à 3,000 mètres, pour le passage à deux voies dans des terrains médiocrement difficiles, ont coûté de 1,000 à 1,500 fr.

5° Que des souterrains ouverts pour le passage à deux voies dans les conditions les plus difficiles (Blaisy, Chézy) ont coûté 2,300 à 2,450 fr.

Clôtures et maisons de garde. — Les clôtures du chemin se composent de poteaux de 1m,40 de hauteur, espacés de 1m,50, et réunis par trois lisses pour les parties les moins habitées, et de treillages en échalas pour celles où la population est plus dense. On compte pour les clôtures à trois lisses 45 centimes par mètre courant, et 75 centimes par mètre courant de clôture en échalas (marchés faits en 1854 pour le chemin de Paris à Mulhouse).

Soit le double par mètre courant de chemin.

La dépense pour les haies vives est de 80 centimes, y compris l'entretien pendant dix ans.

Les maisons de gardes coûtent en moyenne 3,500 fr. l'une. L'auteur des documents statistiques en compte 0,64 par kilomètre moyen, ce qui représente une dépense de 2,240 fr.

Les passages à niveau coûtent 1,200 fr. l'un, et on en compte en moyenne 3,68 par kilomètre.

Peu de Compagnies, continue le même auteur, ont isolé les dépenses d'établissement affectées à la pose du télégraphe électrique; mais ces dépenses sont de nature à être appréciées avec assez de certitude, à raison du peu de variations qu'elles subissent.

L'on sait, en effet, qu'un appareil de poste double coûte, accessoires et installation compris, 720 fr. environ; que l'acquisition, la préparation et la pose des poteaux coûte moyennement 150 fr. par kilomètre; qu'enfin l'acquisition, la préparation et la pose du fil et de ses accessoires, tels que godets, tendeurs, etc., coûtent moyennement 100 fr. par kilomètre[1].

L'on sait, d'autre part, qu'en général les Compagnies sont autorisées à poser leurs fils sur les poteaux établis par le gouvernement pour son propre réseau; que leurs appareils sont pour la plupart à poste double.

Bâtiments des stations. — Les dépenses à faire pour les bâtiments d'exploitation comprennent celles pour les bâtiments de salles d'attente, remises de locomotives et de waggons, les ateliers, les maisons de gardes, etc. Elles peuvent être calculées d'avance avec assez d'exactitude.

La forme et les dimensions de ces bâtiments une fois données, on en établit aisément le devis.

Nous avons réuni, sous forme de documents, des renseignements intéressants sur les prix payés pour la construction de ces bâtiments en France dans différentes circonstances. Les stations extrêmes des grandes lignes sont revenues généralement à des prix fort élevés.

[1] Voir aux documents les détails des prix de revient d'un kilomètre de télégraphe électrique.

D'après M. Petit de Coupvray (*Annuaire des chemins de fer*, 1852-1853), les stations et les gares en Angleterre sont en général d'un genre plus simple que celles que nous construisons en France. On ne pourrait guère citer en Angleterre que cinq ou six de ces édifices sortant de la ligne ordinaire.

La station du grand chemin du London and North Western à Londres, construite dans ces derniers temps par M. William Cubitt et compagnie, sur les plans de M. Philippe Hardwick, est l'édifice le plus monumental de ce genre. Sa dépense s'est élevée à 3,750,000 fr., non compris le terrain, qui appartenait à la Compagnie, et les voies et annexes, qui existaient déjà.

A Londres, à l'exception du Terminus d'Euston et de celui du Great-Northern, les bâtiments des gares sont moins importants que ceux de nos grandes lignes à Paris. Dans les provinces, la dépense des bâtiments des stations représente quelquefois cependant un chiffre assez élevé. On peut citer comme dispendieuses les stations de :

Peterborough,	qui a coûté	2,250,000 fr.
Chester,	»	1,150,000
Cambridge,	»	2,000,000
Ely,	»	3,300,000
Stoke,	»	1,000,000

Enfin voici quel a été, pour plusieurs chemins d'une importance secondaire non portés dans notre tableau, le montant de ce chiffre de dépense :

LIGNES.	DISTANCES MOYENNES entre les stations en kilomètres.	DÉPENSE par kilomètre
Lancaster à Carlisle.	9	24,000 fr.
Chester.	9	26,000 »
Trent Valley.	8	26,000 »
Northampton à Peterborough. .	8	20,000 »
North Middland.	8	30,000 »
North Staffordshire.	6	20,000 »

Les différents prix indiqués ci-dessus ne comprennent pas la valeur des terrains sur lesquels ont été placés les bâtiments.

Établissement de la voie. — Quant aux frais d'établissement de la

voie, ils sont faciles à calculer : un tableau qui se trouve aux documents contient les détails du prix de revient d'un mètre courant de voie simple sur les chemins de Paris à Strasbourg, de Frouard à Forbach, Metz à Thionville, Strasbourg à Wissembourg et Paris à Orléans.

Ces prix comprennent le ballast employé pour le relèvement des voies pendant les deux premières années d'exploitation. M. Jullien, pour tenir compte de ce supplément de dépense, compte 3 mètres cubes de ballast par mètre courant de simple voie au lieu de $2^m,50$.

Il ne faut pas oublier, lorsqu'on calcule les frais de construction d'un chemin de fer, d'ajouter à la longueur des voies principales celle des voies auxiliaires posées dans les gares, et de tenir compte du prix d'achat et de pose des changements de voies, plaques tournantes et chariots de service.

La longueur développée des voies dans les gares est très-variable. On trouve, dans le tableau analytique des frais de construction de nos grands chemins de fer et des chemins allemands, cette longueur pour ces différents chemins.

Sur le chemin d'Orléans, elle n'était, dans l'origine, que d'environ 11 pour 100 de la longueur des voies principales. C'est le développement du trafic qui a conduit à l'augmenter de telle façon, qu'elle est aujourd'hui, d'après notre tableau, au chemin d'Orléans, de 33 pour 100.

Au chemin de Strasbourg, on ne supposait pas, lorsqu'on fit le devis, qu'elle dût dépasser 10 pour 100 de la section de Paris à Nancy, et 5 pour 100 pour la section de Nancy à Strasbourg; mais on considérait alors une recette de 16,000,000 fr. pour la ligne entière comme un maximum, et cette recette a dépassé, en 1856, 37 1/2 millions.

Dans la seule gare de marchandises de la Villette, la longueur des voies accessoires posées pour le service des marchandises est (y compris les voies de garage qui s'étendent jusqu'à la gare de Paris) de 12,000 mètres; pour celui des ateliers de réparation des voitures, de 4,000 mètres, et de 1,400 mètres pour les remises de locomotives.

Dans la gare d'Épernay, la longueur des voies accessoires posées

pour le service de l'exploitation est de 1,500 mètres; elle est de 3,750 mètres environ pour le service des ateliers.

Dans la gare de Nancy, la longueur des voies accessoires est de 3,851 mètres, mais elle est insuffisante.

Dans la gare des voyageurs de Paris, elle est de 2,000 mètres; dans celle de Strasbourg, qui contient aussi des halles pour le service des marchandises, de 6,882 mètres; dans celle de Metz, de 4,600 mètres.

On diminue la dépense des voies de remisage en se servant pour ces voies, dans les remises de waggons, de rails du poids de 15 à 20 kilogrammes au lieu de ceux de 37 kilogrammes employés pour les voies principales.

Accessoires de la voie. — On trouvera aux documents le prix des changements de voie et croisements en place.

Les dépenses consacrées aux accessoires de la voie sont, d'après les documents statistiques, généralement comprises entre 5,000 fr. et 7,000 fr. par kilomètre sur les lignes à double voie; la moyenne qui résulte d'un grand nombre de documents est, en France, de 5,700 fr., nombre rond.

Cette dépense de 5,700 fr. se divise comme suit : plaques tournantes, 37 pour 100, variant de 32 à 68 pour 100; changements de voie, 29 pour 100, variant de 20 à 37 pour 100; signaux fixes et outillage de la voie, 14 pour 100, variant de 5 à 16 pour 100.

Ces chiffres ou proportions diffèrent peu de ceux qui résultent de l'étude de notre tableau, page 294. On remarque seulement que, dans la section de Paris à Meaux du chemin de Paris à Strasbourg, ils ont été considérablement dépassés, surtout en ce qui concerne la dépense en plaques tournantes, qui s'élève à 11,480 fr.

Cela tient à ce que dans cette section se trouve comprise la gare de la Villette, dont l'établissement a exigé un nombre énorme de plaques. La dépense faite pour les accessoires de la voie, dans cette section, ne doit donc pas figurer comme élément dans la comparaison générale des frais d'établissement d'un chemin à deux voies. C'est une dépense tout à fait exceptionnelle.

Pour un chemin à une voie, la proportion de la dépense en accessoires à celle de la voie serait, suivant l'auteur des documents,

de 5 pour 100, soit, moyennement, de 5,150 fr. par kilomètre.

Si le chemin est à une seule voie, on achète le terrain, on construit les ouvrages d'art et on ouvre les tranchées pour les deux voies; mais on ne construit les remblais établis par voie d'emprunt que pour une seule.

Le prix de la voie simple par mètre s'établit comme il est indiqué aux documents, en comptant toutefois 1/2 mètre cube de ballast en plus; la longueur des voies d'évitement est ordinairement d'un cinquième à un quart de la longueur totale du chemin.

Lorsque le tracé du chemin est très-sinueux et présente un grand nombre de courbes en tranchées et des souterrains, un cinquième ou un quart de double voie ne suffirait pas. Il faut poser la double voie dans toutes les parties de la ligne où les convois ne peuvent être aperçus d'une grande distance.

Les frais d'alimentation des machines sont variables. Le tableau page 294 en donne le chiffre. Les conditions topographiques et géologiques dans lesquelles le chemin se trouve établi, dit l'auteur des documents, ont une notable influence sur cette nature de dépenses. Elle est considérable sur la ligne de Paris à Lyon, dont la voie se trouve généralement placée à une grande élévation au-dessus des eaux et exige des machines à vapeur fixes sur beaucoup de points, tandis qu'elle s'abaisse pour la ligne du Nord, par exemple, qui se trouve établie à une faible élévation au-dessus des eaux.

Pour énoncer un chiffre, l'on peut admettre qu'une somme de 1,000 fr. par kilomètre serait suffisante pour faire face aux dépenses résultant de ce chiffre sur une ligne établie dans des conditions moyennes.

En France, les bâtiments pour voyageurs ont coûté, pour des gares exceptionnelles, telles que :

La gare terminale du chemin de Strasbourg à Paris, avec le grand comble, environ. . . .	2,350,000 fr.
Gare terminale du chemin de Lyon à Paris. . .	2,300,000
Gare de Strasbourg.	800,000
— de Nancy, comble compris.	600,000
— de Metz, comble compris.	410,000
— d'Épernay, avec halle et grand buffet. . .	450,000

Les bâtiments de voyageurs, pour les stations intermédiaires de 1re classe, couvrant un espace d'environ 400 mètres carrés, ont coûté, dans le voisinage de Paris, de 80,000 à 90,000 fr.; pour les stations intermédiaires de 2e classe couvrant un

espace de 270 mètres carrés.		. . . .	50,000 fr.
de 3e cl. 250	—	. . . .	40,000 fr.
de 4e cl. 200	—	. . . .	35,000 fr.
de 5e cl. 140	—	. . . .	25,000 fr.
de 6e cl. 100	—	. . . .	18,000 fr.

Nous n'avons compris dans cette dépense ni celle pour bâtiments affectés au service des marchandises, ni la dépense pour marquises couvrant les trottoirs ou pour abri.

L'auteur des documents statistiques compte, pour la dépense des bâtiments des stations de 1re classe correspondant à nos stations hors ligne, 400,000 fr. en moyenne; pour celle des bâtiments des stations de 2e classe correspondant à nos stations de 1re classe, 100,000 fr., et pour celle des bâtiments des stations de 3e classe correspondant à nos stations de même classe, 40,000 fr.

La dépense par kilomètre pour ces bâtiments, sur un chemin comme celui de Mulhouse, où les stations sont assez éloignées, où celles d'une grande importance sont rares, et où il n'y a pas de stations terminales proprement dites, varie de 12,000 à 14,000 fr. Sur des chemins comme ceux de Strasbourg et du Nord, où les stations sont plus rapprochées, plus grandes, et où l'on trouve de magnifiques stations terminales, elle atteint le chiffre de 32,000 fr.

Les bâtiments de grands ateliers, comme ceux établis à Épernay, y compris deux rotondes, bâtiments couvrant une surface de 20,500 mètres, coûtent 850,000 fr.

L'erreur que l'on commet souvent dans les devis des gares d'un chemin de fer provient de ce que l'on se méprend sur les dimensions qu'il convient de leur donner. Nous avons traité la question au chapitre du tracé et à celui des stations, et fourni des renseignements qui permettent de déterminer l'étendue totale de la gare et celle des différents bâtiments.

Ateliers. — La dépense faite pour l'outillage actuellement exis-

tant des grands ateliers d'Épernay s'élève à 476,015 fr., et se subdivise de la manière suivante[1] :

Atelier d'ajustage.	336,440 fr.
— des bandages de roues et forges.	67,825 »
— de ressorts et de la chaudronnerie.	25,200 »
— de montage.	46,650 »

Le chiffre de 476,015 fr. ne comprend que l'acquisition des outils; il faut ajouter environ 16 pour 100 pour l'installation comprenant les transmissions de mouvement, les fondations et la pose des machines-outils.

Les voies de fer et grandes plaques tournantes ne sont pas comprises dans cette dépense.

Pour compléter cet outillage, il faudrait dépenser encore 25,000 fr.

L'outillage actuellement existant des ateliers de Montigny, plus spécialement consacré à la réparation des waggons, a coûté 170,368 fr., se divisant de la manière suivante :

Outillage de l'atelier d'ajustage.	126,298 fr.
— des forges et montages.	28,750 »
— des waggons.	15,320 »

Il faut ajouter 16 pour 100 pour l'installation.

Pour compléter cet outillage, la dépense serait d'environ 16,000 fr.

L'outillage des ateliers de la Villette, affectés à la carrosserie, a coûté, abstraction faite des frais d'installation, 126,000 fr. Il faudrait dépenser 22,000 fr. pour le compléter.

En résumé, la dépense d'outillage des ateliers d'Épernay serait de.	501,000 fr.
De Montigny, de.	186,000
De la Villette, de.	148,000
Total pour les trois ateliers.	835,000 fr.

[1] L'outillage des ateliers d'Épernay, de Montigny et de la Villette, est resté sensiblement le même depuis la publication de la première édition, fin de 1855.

Report. . . .	835,000 fr.
Ajoutant 16 pour 100 pour frais d'installation, etc.	133,000
Total définitif.	968,000 fr.

soit en nombres ronds : 1,000,000 fr.[1].

D'après les documents statistiques :

Les dépenses pour mobilier, qui comprennent le mobilier des gares et stations et l'outillage des ateliers, subissent l'influence de l'importance même des stations et ateliers. Il convient donc, pour rapprocher des chiffres comparables, de s'attacher, comme pour l'article précédent, à des lignes dépourvues de gares hors classes.

En opérant de même sur un ensemble de lignes ou sections de lignes comprenant plus de 2,000 kilomètres, on arrive à une moyenne de prix de revient par kilomètre de 2,540 fr., comprise généralement entre 1,500 fr. et 3,800 fr. Nous adopterons les moyennes approximatives de 2,700 fr. pour les lignes à deux voies, et 2,400 fr. pour les lignes à une voie.

Les chiffres constatés sur quatre lignes, comprenant ensemble plus de 1,000 kilomètres, font en outre ressortir la proportion des dépenses pour mobiliers des gares et stations à 35 pour 100 en moyenne; elle est respectivement de 30, 36, 37 et 46 pour 100 pour les lignes de Frouard à Saarbruck, du Centre, d'Orléans à Bordeaux et de Tours à Nantes.

Matériel roulant. — Le matériel d'exécution pour les terrassements ou les ouvrages d'art des chemins de fer, à l'exception des rails prêtés ou loués par la Compagnie, doit être, en général, fourni par les entrepreneurs, comme il l'a été au chemin de Strasbourg.

Mais, si l'on construisait des chemins de fer dans un pays où l'on ne trouverait pas d'entrepreneur outillé convenablement pour des travaux de ce genre, il ne faudrait pas oublier de porter au devis une certaine somme pour fourniture du matériel d'exécution.

La dépense pour le matériel d'exploitation des chemins est encore de la nature de celles que l'on peut aisément apprécier d'a-

[1] Voir les documents pour le détail de l'outillage.

vance : on sait ce que peuvent coûter une diligence, un waggon de marchandises, une locomotive. Les documents fourniront l'indication de ces différents prix.

Quant au nombre de locomotives ou de waggons réclamés par le service du chemin, on peut s'en rendre compte sans trop de difficulté.

Locomotives. — On connaît en effet à peu près *à priori*, d'après l'importance présumée du chemin, le nombre de convois réguliers de voyageurs et de marchandises qui devront circuler annuellement sur la ligne, et la distance qu'ils doivent parcourir. Y joignant celui des convois supplémentaires, ainsi que celui des convois conduits par deux ou trois machines, que l'on prévoit pouvoir être réclamés quelquefois par l'exploitation, et doublant ou triplant ce dernier, on aura le *nombre total* de *convois simples* circulant chaque année. Multipliant ce nombre par la distance totale à franchir par les convois, on aura le nombre total de kilomètres que devront parcourir annuellement toutes les machines ensemble.

Si donc on connaissait le nombre de kilomètres que peut parcourir annuellement chacune d'elles, on obtiendrait le nombre de machines nécessaires en divisant la première donnée par la seconde.

Or celle-ci peut se déduire facilement de la comparaison de divers chemins établis, connaissant pour chacun d'eux le nombre de locomotives, le parcours kilométrique de toutes ces machines ensemble, et en déduisant par division celui de chacune d'elles.

Malheureusement les comptes rendus des Compagnies ne fournissent pas toujours ce renseignement, ou ils ne renferment que des données incomplètes sur le parcours des machines. Nous avons suppléé à cette insuffisance des comptes rendus en nous adressant directement aux ingénieurs de nos principales lignes en exploitation, et nous avons dressé le tableau suivant avec les informations que nous nous sommes procurées auprès d'eux :

Parcours des machines locomotives, y compris le parcours des réserves à vide et le mouvement des gares.

NATURE DES MARCHANDISES.	NORD. Parcours moyen.	EST. Parcours moyen.	ROUEN. Parcours moyen.	ORLÉANS. Parcours moyen.	LYON. Parcours moyen.
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
Machines à voyageurs et mixtes.	26,290	28,575	18,319	26,034	23,609
Machines à marchandises.	30,223	37,900	34,310	26,855	28,304
Machines Crampton. .	46,250	52,375	»	»	»

OBSERVATION. — Les chemins de Rouen, d'Orléans, ne possèdent pas de Crampton.

On remarque, en étudiant le tableau ci-dessus, que, sur les chemins de l'Est et du Nord, qui sont les seuls de notre tableau qui les emploient, le parcours des machines Crampton dépasse de beaucoup celui des autres machines. Ainsi leur parcours moyen atteint 46,250 kilomètres sur le Nord, et 52,375 kilomètres sur l'Est. Cela tient à la grande rapidité de leur marche.

Le parcours moyen des machines à voyageurs marchant à une vitesse ordinaire, y compris le parcours des machines de réserve, est beaucoup plus faible, puisqu'il n'est que de 26,290 kilomètres sur le Nord, de 28,575 sur l'Est, et de 23,609 sur le chemin de Lyon.

Nous n'avons pu nous procurer le chiffre du parcours des machines de réserve à vide et des mouvements de gare aux chemins d'Orléans et de Rouen; mais le tableau suivant en donne le chiffre exact pour le chemin du Nord pour l'année 1853.

Ce relevé n'a pas été fait pour les années suivantes. Quant aux résultats d'ensemble pour 1856, tels par exemple que le parcours total moyen des machines, ils diffèrent peu de ceux indiqués pour 1853. Nous remarquons seulement qu'en 1856 le nombre des machines de gare avait considérablement augmenté. Il s'était élevé de 2 à 20, ce qui prouve l'utilité de ces machines.

PARCOURS DES MACHINES DU CHEMIN DE FER DU NORD

PENDANT L'ANNÉE 1853.

NATURE des MACHINES.	NOMBRE de machines.	TRAINS DE VOYAGEURS	TRAINS DE MARCHANDISES	TRAINS D'ENSABLEMENT.	MACHINES seules.	MOUVEMENTS de GARE.	TOTAL.	MOYENNE PAR AN et par machine.	PARCOURS des trains suivant la statistique de l'exploitation.
		kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
1° Petites machines de l'État. . .	4	7 444	6 601	9 828	1 326	322	25 521	6 430	
2° Crampton..	15	682776	5 484	»	1 338	4 175	693 773	46 250	3 417 533
3° Machines à voyageurs et mixtes.	121	2 674 460	363 777	8 117	47 933	86 594	3 181 181	26 290	
4° Machines à marchandises. . .	86	17 991	2 319 726	76 876	26 514	158 187	2 599 291	30 223	2 370 196
5° Machines de gare.	2	»	»	»	»	21 599	21 599	10 799	
Totaux.	228	3 382 671	2 695 588	94 821	77 111	271 177	6 521 368	28 617	5 787 729

Au chemin de l'Est, les machines de réserve à vide ont parcouru en totalité 154,000 kilomètres, sur lesquels les machines à voyageurs ont fait environ 70,000 kilomètres, et celles à marchandises 84,000 kilomètres.

Le service des gares fait par les machines des trains, puisque la Compagnie ne possède pas encore de machines de gare, représente un mouvement de 371,000 kilomètres, dont 150,000 kilomètres peuvent être attribués au service des voyageurs, et 221,000 kilomètres à celui des marchandises. Le service du ballast représente un parcours de 50,000 kilomètres.

Des données précédentes et des renseignements que nous avons recueillis, il résulte :

1° Que sur le Nord, le parcours moyen des machines Crampton attelées aux trains de voyageurs a été de 45,500 kilomètres ; celui des machines à voyageurs ordinaires attelées aux trains de voyageurs, de marchandises ou de ballast, a été de 25,175 kilomètres, et celui des machines à marchandises attelées aux trains de voyageurs, de marchandises ou de ballast, de 28,000 kilomètres.

Sur le chemin de l'Est, les parcours ont été :

Pour les Crampton attelées aux trains, de. .	49,000 kilom.
Pour les machines à voyageurs ou mixtes, de.	25,500 —
Pour les machines à marchandises.	32,500 —

2° Que sur le Nord le parcours des machines de réserve à vide a été :

Pour les Crampton, environ les $0^m,002$ du parcours des machines attelées ;

Pour les machines ordinaires ou mixtes, les $0^m,015$ du parcours des machines attelées ;

Pour les machines à marchandises, les $0^m,010$ du parcours des machines attelées.

Sur le chemin de l'Est, le parcours des machines de réserve à vide a été :

Pour les Crampton, machines ordinaires et mixtes, environ le $0^m,025$ du parcours des machines attelées ;

Pour les machines à marchandises, le $0^m,045$ du parcours des machines attelées.

3° Que sur le chemin du Nord le parcours dans les gares a été :

Pour les Crampton, environ les 0^{m},006 du parcours des machines attelées;

Pour les machines à voyageurs ordinaires et mixtes, 0^{m},030 du parcours des machines attelées;

Pour les machines à marchandises, 0^{m},060 du parcours des machines attelées.

4° Que sur le chemin du Nord le service des gares a été fait, en outre, par deux machines de gare qui ont parcouru 21,599 kilomètres dans l'année, en sorte que, divisant le parcours total par le nombre de machines possédées par la Compagnie, y compris les deux machines de gare, on trouve, pour le parcours total des machines dans les gares, 271,000 kilomètres, soit environ 0^{m},04 du parcours des machines attelées.

Sur le chemin de l'Est, le parcours dans les gares a été, pour toutes les machines, environ les 0^{m},08 du parcours des machines attelées.

Le parcours des réserves à vide et le parcours dans les gares sont donc sensiblement plus considérables au chemin de l'Est qu'au chemin du Nord. Cela tient, d'une part, à ce que les machines, qui, sur le chemin de l'Est, font le service des rampes, reviennent toujours à vide, d'autre part, au grand nombre de trains marchant avec deux machines, dont l'une revient nécessairement à vide; et enfin à l'importance des manœuvres dans certaines gares.

Sur le chemin de Rouen, le service est organisé de telle façon, que le nombre de kilomètres parcourus par les machines de réserve et dans le service des gares est peu considérable. Il est également assez faible sur le chemin d'Orléans.

De l'avis d'un grand nombre d'ingénieurs expérimentés, les locomotives ont fait sur le chemin de l'Est un service excessif; la Compagnie a été forcée, par l'augmentation subite et imprévue du trafic, d'en accroître le travail au delà des proportions convenables. Aux chemins du Nord et d'Orléans, le travail des locomotives à voyageurs, quoique moins grand que sur celui de l'Est, a été considérable.

Nous pensons que, pour ne pas fatiguer outre mesure le matériel, il ne faut pas faire parcourir aux machines à voyageurs ordi-

naires et mixtes plus de 24 à 25,000 kilomètres par an, et plus de 22 à 23,000 kilomètres lorsqu'elles sont attelées aux trains, ce qui fait 66 kilomètres par jour dans le premier cas, et 63 kilomètres dans le second.

Au chemin de Rouen, où la traction est faite par un entrepreneur à forfait, le parcours total des locomotives à voyageurs n'a pas dépassé 18,319 kilomètres. Il est vrai que le travail des locomotives à marchandises a été considérable. Pour ces dernières, on doit compter un cinquième en sus du travail des locomotives à voyageurs ordinaires. Il y a quelques années, le travail moyen des locomotives à voyageurs dépassait rarement 18,000 kilomètres par an, et celui des locomotives à marchandises 20,000 kilomètres[1]. M. le docteur Lardner, dans un ouvrage publié en 1850, regarde comme un tour de force le travail moyen de toutes les locomotives du Greath-Northern railway s'élevant à 25,000 kilomètres par an.

Lors de la première année d'exploitation d'un chemin de fer, le matériel étant entièrement neuf, on pourra dépasser la moyenne indiquée; mais, quand le matériel sera usé, on sera souvent exposé à rester au-dessous.

On devra aussi la réduire quand au service d'une grande ligne vient s'ajouter celui d'embranchements d'une petite longueur, où le nombre des convois étant peu considérable, force à employer les machines dans de mauvaises conditions.

La locomotive en service faisant chaque jour des trajets de 180 à 200 kilomètres, c'est-à-dire à peu près le triple du trajet moyen, on doit en conclure que deux machines sont en réparation pour une en feu, ou, en d'autres termes, que chaque machine ne travaille, en moyenne dans l'année, que pendant quatre mois.

Ces données sur le parcours des locomotives suffisent pour calculer, par approximation, le nombre de machines nécessaires à l'exploitation d'un chemin de fer sur lequel on aura déterminé, par hypothèse, le nombre des trains de voyageurs et de marchandises nécessaires pour un certain trafic.

Le matériel du service ordinaire ainsi fixé, si, certains jours de l'année, comme au chemin de Versailles, par exemple, on est obligé

[1] Voir l'ouvrage de M. Teisserenc.

de transporter des masses extraordinaires de voyageurs, il faut, outre le matériel du service ordinaire, un matériel supplémentaire pour les jours de fêtes, dont la dépense augmente considérablement les frais de premier établissement. Pour apprécier l'importance de ce matériel, on détermine le nombre des machines qui doivent être mises en feu ces jours-là, et on suppose qu'une partie plus ou moins considérable, le quart, par exemple, ne pourra être mis en état de marcher pour ces solennités, ou qu'il devra rester en réserve.

Quelques ingénieurs, pour déterminer le nombre de locomotives nécessaires à un chemin de fer, ont suivi une autre marche que celle que nous venons d'indiquer. Ainsi ils ont admis que l'exploitation d'une ligne considérable par son trafic exige l'emploi de trois machines locomotives par myriamètre; cependant ce nombre a été dépassé aux chemins du Nord et de Strasbourg. Le premier possédait, en 1855, 287 machines pour 710 kilomètres exploités, ou 4 machines par myriamètre, et le second 248 machines pour 682 kilomètres, soit 3 machines 6/10 par myriamètre. Le nombre des machines, ainsi que celui des kilomètres exploités sur l'un et sur l'autre chemin a augmenté depuis lors; mais, une partie du matériel construit étant destinée au service de lignes en construction, on ne peut tirer aucune conclusion utile du rapprochement de ces nouveaux chiffres.

Sur des chemins d'une importance moindre, le nombre de machines par myriamètre est descendu à 2 et même au-dessous. Au chemin de Troyes à Montereau, par exemple, on a fait le service avec 16 machines pour 100 kilomètres, soit une machine 6/10 par myriamètre.

Le nombre des machines s'obtient d'une manière beaucoup plus précise en divisant le nombre total des kilomètres parcourus pendant l'année par les nombres que nous avons indiqués.

Waggons. — Si maintenant nous passons à la détermination du nombre de *waggons de toute espèce* nécessaires pour le transport des voyageurs ou pour celui des marchandises en service ordinaire, nous devons commencer par chercher, comme nous l'avons fait pour les machines :

1° Le parcours kilométrique annuel de l'ensemble des waggons;

et, pour cela, il suffit évidemment de multiplier le parcours total déjà connu des convois simples par le nombre moyen de waggons entrant dans la composition de chaque convoi;

2° Le parcours moyen annuel d'un waggon, que l'on déduira, comme pour les machines, de l'exemple des chemins établis.

Ces deux quantités étant connues, on aura, en les divisant l'une par l'autre, le nombre de waggons nécessaires à l'exploitation.

Mais le service des waggons ne peut malheureusement pas se régler aussi facilement que celui des locomotives, ce qui rend la solution du problème beaucoup plus difficile pour les waggons que pour les locomotives.

Les exigences du commerce, qui varient beaucoup sur les différentes lignes, nécessitent le stationnement plus ou moins long des waggons de marchandises dans les gares, ce qui diminue leur parcours. La longueur du trajet que font ces waggons en moyenne chaque jour, et qui n'est pas à peu près constant, comme pour les locomotives, exerce également une grande influence sur le temps perdu au chargement ou au déchargement, et, par suite, sur le parcours journalier.

Nous allons toutefois indiquer le parcours moyen des voitures et waggons à marchandises sur les chemins du Nord, d'Orléans et de l'Est. Si l'on ne peut pas en tirer des conséquences absolues, on pourra, du moins, se faire une idée des limites entre lesquelles varie la longueur du parcours des waggons sur les grandes lignes en France.

Le tableau suivant résume ces parcours.

PARCOURS MOYEN DES VÉHICULES DE DIFFÉRENTES ESPÈCES.

	NATURE DES VÉHICULES.	NORD.	EST.	ORLÉANS.	ROUEN.	LYON.
Voitures et vagons à voyageurs.	Voitures de cérémonie. .	1 261	»	»	»	
	Salons.	3 09:	»	»	»	
	1re classe.	44 325	»	53 727	»	56 698
	Mixtes.	27 757	»	28 785	»	
	2e classe.	32 194	»	33 531	»	38 599
	3e classe.	22 878	»	40 406	»	47 445
	Fourgons à bagages. . .	51 918	»	60 015	»	66 225
	Trucks à équipages.. . .	9 104	»	12 568	»	49 174
	Écuries.	12 198	»	19 094	»	20 654
	Wagons à lait.	29 643	»	26 519	»	8 979
	Wagons-poste.	56 506	»	»	»	»
	Parcours moyen. . .	3137 5	37 150	38 885	29 470	»
Vagons à marchandises.	Wagons bergeries.	22 131	»	18 559	»	»
	» à bois.	13 131	»	»	»	»
	» à pierre.	8 268	»	»	»	»
	» à bestiaux. . . .	18 017	»	34 557	»	9 493
	» à coulisses. . . .	25 521	»	»	»	20 823
	» plats longs. . . .	14 166	»	18 029	»	10 682
	» tombereaux. . .	19 309	»	»	»	10 820
	» à sable.	5 355	»	»	»	»
	» à houille.	13 593	»	»	»	»
	» à coke.	6 352	»	»	»	»
	» plats divers. . .	15 259	»	»	»	»
	» de secours. . . .	448	»	»	»	»
	» à plaques tournantes. . . .	4 873	»	»	»	»
	» maringottes. . .	»	»	26 428	»	27 656
	» à farines.	»	»	11 350	»	»
	» à frein.	»	»	»	»	24 991
	Parcours moyen. . .	14 791	20 000	27 539	20 641	»

On voit, en étudiant ce tableau :

1° Que le parcours moyen de tous les véhicules employés dans les trains de voyageurs sur les trois grandes lignes portées dans ce tableau n'a pas été de moins de 29,000 kilomètres par an, et de plus de 39,000 kilomètres ;

2° Que le parcours moyen minimum des waggons à marchandises

a été de 14,791 kilomètres (chemin du Nord), et le parcours moyen maximum de 27,339 kilomètres (sur le chemin d'Orléans).

Ces parcours ont été d'autant plus grands, que les distances moyennes pour le transport des marchandises à petite vitesse ont été plus grandes, puisque ces distances ont été, pour une tonne de marchandises, de 161 kilomètres sur le chemin du Nord, de 169 sur celui de l'Est, et de 199 sur le réseau d'Orléans.

3° Que le parcours des fourgons à bagages, qui entrent dans la composition de tous les trains, a été plus grand que celui d'aucun autre véhicule, puisqu'il a atteint près de 52,000 kilomètres sur le chemin du Nord, et 60,000 sur le réseau d'Orléans.

4° Que le parcours des voitures de 1re classe, qui entrent exclusivement dans la composition des convois à grande vitesse, est sensiblement plus grand que celui des voitures de 2e et de 3e classe.

5° Que les waggons de terrassement et les trucks à équipages, qui ne marchent qu'accidentellement, sont de tous les véhicules ceux qui font le moins de parcours.

6° Que le parcours moyen des waggons à marchandises est, comme on devait s'y attendre, très-variable.

Le nombre moyen de kilomètres parcourus par les véhicules de différentes espèces connu, il faut aussi se rendre compte de la composition moyenne d'un convoi. C'est ce qu'indique le tableau suivant pour différents chemins.

COMPOSITION MOYENNE D'UN CONVOI.

DÉSIGNATION DES VÉHICULES.	COMPAGNIE DU NORD.		COMPAGNIE DE L'EST.		COMPAGNIE DE ROUEN.		COMPAGNIE D'ALSACE.		COMPAGNIE D'ORLÉANS.		COMPAGNIE DE LYON.		COMPAGNIES BELGES.	
	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.	Nombre de wagons par convoi.	Nombre pour cent.
Voitures de 1re classe.	1,71	19	1,50	»	1,49	13	1,31	11	1,39	15	1,34	12	1,84	16
Id. de 2e classe.	2,17	25	2,80	»	3,41	29	1,96	17	2,39	27	1,88	17	2,56	23
Id. de 3e classe.	1,98	22	6,00	»	1,54	13	2,67	22	1,37	15	1,94	18	3,60	33
Total des voitures.	5,86	66	10,30	»	6,44	55	5,94	50	5,15	57	5,16	47	8,00	72
Wagons à bagages.	2,16	25	»	»	0,43	4	2,00	17	0,91	9	»	»	1,06	9
Id. divers.	0,77	9	»	»	5,00	41	3,89	33	3,19	34	5,61	53	2,14	19
Total des wagons.	2,93	34	»	»	5,43	45	5,89	50	4,10	43	5,61	53	3,20	28
Report des voitures.	5,86	66	10,30	»	6,44	55	5,94	50	5,15	57	5,16	47	8,00	72
	8,79	100	»	»	11,87	100	11,83	100	9,25	100	10,77	100	11,20	100

OBSERVATIONS. — Il n'y a qu'aux Compagnies de l'Est et de Lyon que nous ayons pu obtenir des chiffres récents sur la composition moyenne des trains. Pour les autres Compagnies, les données prises dans l'ouvrage publié par M. Teisserenc sont anciennes, mais elles suffisent eu égard au but que nous nous sommes proposé.

Comme il faut aussi calculer le matériel en raison du nombre de voyageurs à transporter, et que les voitures ne sont jamais entièrement pleines, nous donnons ci-contre un tableau des places offertes et des places occupées sur différents chemins.

Enfin, pour aider à déterminer la quantité de matériel nécessaire à l'exploitation d'un chemin de fer, nous indiquons dans un nouveau tableau (page 338) le matériel en locomotives et véhicules de différentes espèces de plusieurs Compagnies, le travail total de ce matériel mesuré par le nombre de convois, le nombre de kilomètres parcourus par chaque espèce de convois, le nombre de kilomètres parcourus par les machines seules, le nombre de voyageurs et de tonnes transportés à un kilomètre, le parcours moyen d'un voyageur et d'une tonne de marchandises.

TABLEAU DES PLACES OFFERTES ET DES PLACES OCCUPÉES PAR CONVOI.

DÉSIGNATION DES CLASSES.	COMPAGNIE DU NORD.			COMPAGNIE DE L'EST.			COMPAGNIE DE ROUEN.			COMPAGNIE D'ALSACE.			COMPAGNIE D'ORLÉANS.			COMPAGNIES BELGES.		
	Places offertes.	Places occupées.	Rapport.	Places offertes.	Places occupées.	Rapport.	Places offertes.	Places occupées.	Rapport.	Places offertes.	Places occupées.	Rapport.	Places offertes.	Places occupées.	Rapport.	Places offertes.	Places occupées.	Rapport.
1re classe. . .	41,04	18,10	2.26	36,0	11,0	3,27	35,76			39,30	3,57	11,00	33,76	29,10	3,62	55,20	8,69	6,35
2e classe. . .	65,10	22,35	2,91	84,0	18,0	4,67	102,30	64,40	2,80	56,80	13,26	4 43	71,70			76,80	21,33	3,60
3e classe. . .	84.61	37,62	2,25	240,0	102,0	1,37	46,20			80,10	34,17	2,34	41,10	30,45	1,35	108,0	48,98	2,20
	190,78	78,07	2,45	360,0	131,0	2,75	184,26	64,40	2,80	178,20	51,00	3,50	146,56	59,55	2,40	240,00	79,00	3,03

OBSERVATIONS. — La Compagnie de l'Est a pu seule nous fournir des renseignements récents; les autres sont empruntés à l'ouvrage de M. Teisserenc.

TABLEAU DU NOMBRE DE LOCOMOTIVES ET DE VÉHICULES SUR DIFFÉRENTS CHEMINS.

NATURE DU MATÉRIEL.		COMPAGNIE du Nord.	COMPAGNIE de l'Est.	COMPAGNIE d'Orléans.	COMPAGNIE de Lyon.
Nombre de machines.	Crampton.	15	12	»	»
	Voyageurs.	121	79	139	57
	Mixtes.		14	46	56
	Marchandises.	86	75	62	12
	Gares.	2	»	»	»
Voitures des trains de voyageurs.	Cérémonies.	1	»	»	1
	Salons.	5	1	»	»
	1re classe.	142	94	139	70
	Mixtes.	51	40	34	12
	2e classe.	193	200	202	110
	3e classe.	263	284	218	161
	Fourgons à bagages.	179	160	123	74
	Trucks à équipages.	59	46	62	50
	Écuries.	65	69	60	40
	Wagons à lait.	25	»	13	15
	Wagons-poste.	8	»	»	6
Voitures des trains de marchandises.	Wagons-bergeries.	50		60	»
	» à bois.	150		»	2
	» à pierres.	156		»	»
	» à bestiaux.	532		1528	445
	» à coulisses.	251		»	1028
	» plats longs.	544		599	178
	» tombereaux.	75		»	65
	» à sable.	189		»	220
	» à houille.	1103	3359	»	2
	» à coke.	303		72	»
	» plats divers.	1273		»	»
	» à plaques tournantes.	2		12	»
	» maringottes.	»		»	»
	» à farines.	»		225	382
	» à freins.	»		10	»
	» de secours	17	9	»	150
Parcours total des machines	à voyageurs.	3801930^{k}	2995212^{k}	3809315^{k}	2011622^{k}
	à marchandises.	2620793	2274409	2192216	1040469
Parcours total des trains.	de voyageurs.	3417533^{k}	2620573^{k}	3216648^{k}	1959524^{k}
	de marchandises.	2370196	1784570	2154883	905716
Parcours moyen	d'un voyageur.	51	71	78	92
	d'une tonne de marchandises.	161	169	199	198,5
Voyageurs transportés à 1 kil.		242230000	176181332	223752399	167888692
Tonnes de marchandises, *id.*		189940205	139413279	152471857	89439514

Le matériel de ces différents chemins est faible, comparé au trafic. Il convient, du reste, en général, de commander un matériel excédant les besoins plutôt que de s'exposer à se trouver renfermé dans des limites trop restreintes. Toutes nos grandes Compagnies ont perdu des recettes considérables faute de matériel.

Il nous reste maintenant, pour compléter l'analyse que nous avons entreprise des dépenses qui composent le prix de construction des chemins de fer, à parler du montant de celles qui concernent les approvisionnements, le contentieux et l'imprévu.

Approvisionnements. — La dépense pour approvisionnements ne peut donner lieu à des erreurs bien graves. On la calculera facilement, en admettant qu'il suffit de posséder en magasin ou sur les chantiers la quantité de coke et de matériaux nécessaire aux besoins d'un service actif pendant plusieurs semaines.

Contentieux. — Les frais de contentieux, souvent considérables, sont beaucoup plus sujets à variations.

Frais imprévus. — Les frais imprévus doivent être estimés à un dixième de la dépense totale; ce n'est pas leur faire une part trop large dans un devis aussi difficile à établir que celui d'un chemin de fer.

La revue que nous venons de passer des éléments du prix d'établissement des chemins de fer confirme ce fait énoncé en commençant ce chapitre, que si quelques-uns peuvent être facilement calculés d'avance, d'autres, au contraire, et ce sont les plus importants, ne sauraient être appréciés avec exactitude. Comment donc s'étonner des erreurs commises par les ingénieurs dans des estimations aussi difficiles et aussi variées, lorqu'on voit si souvent les architectes se tromper dans le simple devis d'une maison?

DES MARCHÉS A PASSER POUR L'EXÉCUTION DES CHEMINS DE FER.

Marchés à forfait. — *Bien des personnes pensent qu'on peut éviter des mécomptes en passant des marchés à forfait pour la totalité de l'exécution.*

Il est très-important de combattre cette opinion, dont la pratique a démontré la fausseté.

Les administrateurs des Compagnies sont, en général, fort enclins

à passer des marchés à forfait, parce qu'ils croient, de cette manière, se mettre à l'abri de toute responsabilité.

C'est un moyen commode pour eux de se décharger des soins de l'exécution, mais très-préjudiciable, selon nous, aux intérêts bien entendus des actionnaires, et par lequel on les induit souvent dans de très-graves erreurs.

Qu'arrivera-t-il, en effet, si l'on traite à forfait avec un entrepreneur unique pour l'exécution d'un chemin, dont le capital est considérable, comme l'a été, par exemple, celui du chemin de Strasbourg à Bâle? Ou l'entrepreneur se sera donné une grande latitude dans l'estimation de la dépense, et il réalisera d'énormes bénéfices; ou, trop hardi dans sa soumission, il aura dépassé de beaucoup ses prévisions; ou, enfin, la dépense s'éloignera peu de ses devis, et son bénéfice sera modéré ou sa perte tolérable.

Dans le premier cas, les actionnaires éprouveront un préjudice que l'on aurait pu éviter.

Dans le second, la fortune de l'entrepreneur deviendra insuffisante, et il abandonnera les travaux, ou, ce qu'il y a de plus probable, il suscitera à la Compagnie de tels embarras, qu'elle se trouvera conduite à la résiliation du traité sans indemnité et avec restitution du cautionnement, car il est toujours dangereux d'entamer un procès avec un entrepreneur puissant. Le succès est fort problématique, les travaux en sont toujours retardés, et les Compagnies sages évitent, à tout prix, de pareils débats devant les tribunaux.

Dans le dernier cas, le traité peut être considéré comme avantageux pour la Compagnie et pour l'entrepreneur; mais on conçoit que, vu l'incertitude que présentent les estimations des travaux d'un chemin de fer, ce ne sera pour ainsi dire que par hasard et bien rarement que, plus habile que les ingénieurs les plus expérimentés, l'entrepreneur sera parvenu à déterminer, à peu près exactement, les frais de construction. Un entrepreneur prudent escomptera toujours cette incertitude à son profit, et ne consentira à traiter qu'à des prix fort élevés.

Ce que nous avançons, il nous serait facile de le prouver par de nombreux exemples. Nous n'en citerons cependant qu'un petit nombre.

Le chemin de Strasbourg à Bâle a été entrepris par M. Nicolas

Kœchlin, au prix de 40 millions. Il est impossible de savoir exactement quel a été le bénéfice de M. Kœchlin sur cette affaire; mais, à considérer la nature des travaux à exécuter et le prix accordé pour ces travaux, on croira difficilement que le bénéfice n'ait pas été considérable; et cependant le chemin livré à la Compagnie était loin d'être parfait, loin surtout d'être complet. Les contestations entre M. Kœchlin et la Compagnie ont été nombreuses : nous ne prétendons pas nous en faire juge; encore moins critiquerons-nous une œuvre qui sous tant de rapports fait honneur aux ingénieurs qui l'ont accomplie; mais nous ne pouvons nous empêcher de nous poser cette question :

Les administrateurs du chemin de Bâle à Strasbourg auraient-ils passé un marché à forfait pour l'exécution de ce chemin, s'ils eussent prévu que, malgré ce marché, ils auraient à créer, à côté du capital souscrit primitivement par les actionnaires, un nouveau capital d'emprunt, pour compléter leurs ateliers, loger leurs employés et reconstruire une partie de leur matériel? Il est permis d'en douter.

Le chemin de Blesmes à Gray a été entrepris à forfait. La Compagnie de l'Est, qui a fait un traité à forfait en achetant le chemin, s'est trouvée forcée de le résilier par la crainte de voir l'exécution de ses travaux considérablement retardée et par celle des procès dont les entrepreneurs la menaçaient. Elle les a évincés en leur payant une indemnité considérable.

Il en a été de même de la Compagnie de l'Ouest (Suisse) pour le chemin d'Yverdun à Morges et à Lausanne.

Ces deux chemins, celui de Blesmes et celui de Lausanne, auront, tous comptes réglés, coûté fort cher.

Il y a deux manières de traiter à forfait pour l'exécution d'un chemin de fer.

1° On annexe au traité un devis explicatif des travaux à exécuter;

2° On traite sans devis explicatif, à cette seule condition que le chemin sera reçu par l'administration des ponts et chaussées comme satisfaisant aux obligations du cahier des charges.

Le premier mode a été adopté pour l'achèvement du chemin de Versailles (rive gauche).

Dans ce cas, tout ouvrage qui n'est pas prévu au devis est payé séparément, et le principal avantage que l'on prétendait retirer du traité à forfait disparaît.

Peut-être objectera-t-on qu'il est facile d'éviter ce surcroît de dépense en stipulant dans le traité que tout ouvrage non prévu au devis, et cependant nécessaire à l'établissement du chemin, sera exécuté aux frais de l'entrepreneur.

Les arbitres nommés pour décider des contestations entre la Compagnie et l'entrepreneur à forfait ne s'arrêtent jamais à la lettre des conventions; ils les interprètent toujours en faveur de l'entrepreneur, surtout si celui-ci est assez adroit pour leur persuader que l'opération lui est onéreuse. Les Compagnies, en cas de procès, sont presque toujours sacrifiées, et l'entrepreneur a toutes les chances de bénéfices en sa faveur sans courir les chances de perte.

C'est ce qui est arrivé à la Compagnie de Versailles (rive gauche), qui a dû payer 800,000 fr. à M. Séguin pour travaux imprévus, bien que le traité stipulât formellement que ces travaux devaient être à la charge de l'entrepreneur.

En vain les administrateurs du chemin, qui s'étaient rendus personnellement garants de toute dépense excédant le chiffre du forfait, avaient-ils consulté pour la rédaction du traité trois de nos plus célèbres avocats, MM^es Chaix d'Est-Ange, Ph. Dupin et Bethmont.

La Compagnie du chemin de fer de Lyon à Genève avait divisé ses travaux en plusieurs lots, et traité à forfait pour chacun de ces lots. Elle a été forcée de résilier tous ces marchés à son grand préjudice, à l'exception d'un seul, celui passé avec MM. Parent et Brassey, pour l'exécution du souterrain du Crédo.

Le traité à forfait avec devis descriptif a aussi l'inconvénient d'exposer à des procès souvent très-graves, lorsqu'il devient nécessaire d'apporter en cours d'exécution des modifications à des plans qu'il est bien difficile d'arrêter complétement. Ces modifications sont, dans tous les cas, payées fort cher à l'entrepreneur, et ont pour conséquence le surcroît de dépenses que l'on voulait éviter en traitant à forfait.

Pour le chemin de Bâle à Strasbourg, c'est le second mode de traité à forfait qui a obtenu la préférence.

Il ne présente cependant pas moins d'inconvénients que le précédent.

Quelles garanties offre-t-il en effet à la Compagnie de la bonne exécution des travaux ?

Toutes les fois qu'un chemin est construit à forfait par un entrepreneur unique, riche et tout-puissant, à qui les moyens ne manquent pas pour séduire les employés subalternes de la Compagnie, il est bien difficile, quelles que soient les conventions faites, d'échapper à la fraude, de se préserver des malfaçons, et cela devient pour ainsi dire impossible si le traité n'est pas accompagné d'un cahier des charges indiquant tous les travaux à exécuter et déterminant leur mode d'exécution.

La réception des chemins par les ingénieurs de l'État se fait ordinairement avec une indulgence excessive. Elle ne porte d'ailleurs que sur des ouvrages dont on ne peut visiter que l'extérieur. Que les terres composant un remblai glaiseux aient été imparfaitement desséchées, et qu'on ait négligé de les piloner, que la chaux employée pour la construction d'un travail en maçonnerie soit de mauvaise qualité, que les bois invisibles d'une charpente soient vicieux ou qu'ils aient été mal assemblés, les ingénieurs chargés de la réception des travaux ne peuvent pas évidemment s'en apercevoir.

L'entrepreneur, nous dira-t-on, garantit ses ouvrages pour une année, pour deux années même. Garantie illusoire! L'expérience a prouvé que, sur la plupart des grandes lignes de chemins de fer, les éboulements des talus glaiseux mal établis ne s'étaient manifestés que trois ou quatre ans après l'ouverture du chemin ; et des ouvrages en maçonnerie ou en charpente, bien que manquant de solidité, peuvent résister plusieurs années de suite.

Le tracé des chemins de fer ne pouvant être déterminé à l'avance, puisque la Compagnie doit le soumettre à l'approbation de l'État, il arrive quelquefois que l'entrepreneur à forfait combat auprès du gouvernement les tracés proposés par la Compagnie, donnant toujours la préférence aux tracés les plus économiques de construction, tandis que la Compagnie recherche les plus productifs. Ce cas s'est présenté pour le tracé du chemin de Blesme à Gray, aux abords de

la ville de Chaumont. Les raisons abondent par conséquent pour repousser les marchés à forfait.

On nous opposera peut-être encore, comme argument en faveur des marchés à forfait, l'exemple du chemin de Rouen, construit à forfait avec le double avantage de la rapidité et de l'économie.

Nous répondrons que le marché passé pour l'exécution du chemin de Rouen n'est pas un véritable marché à forfait, puisque l'ingénieur en chef était libre d'accorder aux entrepreneurs toute indemnité qui lui paraissait équitable, et que les entrepreneurs acceptaient l'arbitrage suprême de cet ingénieur. Le conseil d'administration s'était, dans ce cas, tout simplement démis de son pouvoir en faveur de son ingénieur, avec lequel les entrepreneurs ont eux-mêmes traité de confiance. La Compagnie ne se trouvait en aucune manière garantie de tout mécompte par ce marché; et, si l'on consulte le tableau des prix de revient, en se souvenant que le chemin de Rouen n'a pas été dans l'obligation de construire une tête de gare coûteuse comme celle d'Orléans, on reconnaîtra que les travaux, bien que moins solidement exécutés que ceux du chemin d'Orléans, n'ont pas été moins dispendieux.

Si, du reste, le traité à forfait doit être repoussé, c'est surtout lorsqu'il est proposé par les fondateurs d'une Compagnie à leurs associés, ces fondateurs devenant eux-mêmes entrepreneurs tout en restant administrateurs.

Quelque honnêtes que l'on suppose les administrateurs d'une entreprise, il est impossible qu'ils se dérobent à l'influence qu'exercent sur eux des collègues plus adroits et plus expérimentés.

Quelques lignes (Bâle, Montereau, Lyon à la Méditerranée, Dijon à Besançon, Blesmes à Gray) exécutées à forfait ont été, pour une partie des administrateurs, un objet de spéculation.

En Angleterre, on n'a généralement exécuté à forfait que des travaux partiels et assez limités. Il en a été de même en Belgique.

En Allemagne, les travaux de chemins de fer ont été exécutés sur séries de prix.

Marchés sur séries de prix. — *Le mode exclusivement adopté pour l'exécution des travaux par l'administration, en France, et*

par plusieurs Compagnies importantes, celles du Nord, d'Orléans, de l'Est, de Lyon et du Midi, a été celui sur séries de prix.

On convient alors, avec les entrepreneurs, de certains prix débattus pour chaque nature d'ouvrage. On leur paye, par exemple, un prix déterminé pour la fouille et charge d'un mètre cube de telle nature de terre ou de roche bien déterminée; pour la construction d'un mètre cube de maçonnerie en moellons; d'un mètre cube de maçonnerie en pierre de taille; pour le transport à une distance déterminée d'un mètre cube chargé en tombereau ou en waggon, etc., et on règle leurs comptes après estimation du travail exécuté.

L'établissement des séries de prix est une opération d'une grande importance, qu'il ne faut confier qu'à des ingénieurs expérimentés et connaissant bien les prix dans les localités où ils travaillent.

Le choix des entrepreneurs exerce une grande influence sur le succès du marché.

Les marchés sur séries de prix n'exposent pas à des mécomptes aussi grands que ceux à forfait; il ne faudrait pas croire toutefois qu'ils permettent de faire une estimation très-exacte de travaux même bien déterminés.

Les ingénieurs et les entrepreneurs, au moment des règlements, ne sont jamais d'accord sur l'interprétation des séries. Les entrepreneurs élèvent toujours des prétentions que les arbitres, même les plus impartiaux, ne repoussent jamais complétement. L'entrepreneur qui fait fortune n'est pas celui qui fait exécuter les travaux au meilleur marché possible, c'est le plus souvent celui qui fait valoir des prétentions avec le plus d'adresse auprès des arbitres. C'est le meilleur avocat plus encore que le meilleur praticien.

Quelquefois pressé par l'obligation de terminer rapidement les travaux, on laisse certains prix, tels que ceux des matériaux, indéterminés. Dans ce cas, l'ingénieur en chef doit faire disparaître les inconnus dans le plus bref délai possible, s'il ne veut rester à la discrétion des entrepreneurs.

Les travaux étant exécutés sur séries de prix, convient-il de les confier à un seul entrepreneur ou de les diviser entre un nombre plus ou moins grand d'entrepreneurs? C'est une question qui a été

agitée dans le sein des conseils d'administration de plusieurs grandes lignes.

Dans certains cas, il vaut incontestablement mieux partager les travaux entre plusieurs entrepreneurs. On peut, de cette manière, en faisant agir convenablement la concurrence, parvenir à une réduction dans les prix que l'on n'obtiendrait pas d'un entrepreneur unique. Le système d'un entrepreneur unique présente d'ailleurs une partie des inconvénients inhérents aux forfaits. La Compagnie des chemins de fer de l'Est a cru devoir néanmoins traiter, pour l'exécution du chemin de Paris à Mulhouse, avec un entrepreneur unique, parce que, obligée de construire le chemin dans un délai très-court, elle a pensé qu'elle atteindrait plus facilement ce but avec un entrepreneur intelligent et puissant, qui d'ailleurs lui était parfaitement connu, qu'avec plusieurs entrepreneurs moins expérimentés et moins bien outillés. Ajoutons que cet entrepreneur, désireux d'attacher son nom à ce grand travail, a consenti un rabais inespéré, différant peu de celui qu'offraient de petits entrepreneurs. Cette Compagnie n'eût probablement pas traité avec tout autre entrepreneur, qui eût présenté moins de garanties et surtout qui n'aurait pas eu précédemment avec elle des relations aussi satisfaisantes. Nous devons aussi faire observer qu'elle a distrait de ce marché un certain nombre de travaux qui ne nécessitaient pas l'intervention d'un grand entrepreneur, tels que les maisons de gardes, les bâtiments des stations, les hangars, clôtures, etc.

Aujourd'hui, les Compagnies entreprenant d'immenses travaux, dont la surveillance, du reste, est d'autant plus difficile que ces travaux s'étendent sur un plus grand espace, l'intervention des grands entrepreneurs semble nécessaire et obtient ordinairement la préférence.

L'État passe généralement les marchés par voie d'adjudication. Il obtient souvent de cette manière de grands rabais; mais ces rabais sont parfois excessifs, et les entrepreneurs, ruinés, abandonnent les travaux. Les Compagnies choisissent leurs entrepreneurs, et fixent les prix avec eux à l'amiable; ou, si elles recourent à l'adjudication, elles n'admettent au concours que des entrepreneurs placés au premier rang pour la capacité et pour la solvabi-

tité. Il est reconnu aujourd'hui que ce dernier système est préférable au premier.

Écartant les entrepreneurs qui feraient des prix trop faibles, aussi bien que ceux qui en feraient de trop élevés, les Compagnies opèrent dans de meilleures conditions que l'État. Les travaux sont mieux exécutés, et souvent, tous comptes faits, ils sont moins coûteux.

Des moyennes du prix de construction des chemins de fer. — Il ressort suffisamment de l'examen auquel nous nous sommes livré précédemment, du prix de revient d'un certain nombre de chemins de fer, que l'on ne saurait avoir confiance dans les moyennes lorsqu'il s'agit de déterminer sérieusement la dépense d'établissement d'une grande ligne de chemin de fer.

Les moyennes, lorsqu'on ne leur attribue que leur juste valeur, n'en sont pas moins utiles pour fixer les idées dans les discussions générales, et même pour guider dans l'étude préalable et rapide que l'on est quelquefois obligé de faire de certains projets.

Nous avons vu que la moyenne des frais de construction était pour

Les chemins anglais, de.	530,000 fr.
Les chemins français, de.	391,000
Les chemins belges faits par l'État, de. . .	270,000
Les chemins allemands, de.	201,000
Les chemins américains, de.	96,500

La moyenne pour les grandes lignes établies en France (Nord, Paris à Strasbourg, Paris à Lyon, Paris à Orléans, Paris au Havre, Lyon à la Méditerranée) est d'environ 463,000 fr.

La dépense s'est répartie à peu près de la manière suivante :

Administration, frais généraux, etc.	17,000 fr.
Achats de terrain.	65,000 »
Terrassements et travaux d'art.	150,000
Bâtiments des stations, ateliers, dépenses diverses, etc..	48,000 »
Pour la double voie, y compris l'ensablement ainsi que les voies accessoires, plates-formes et changements de voie.	122,000 »
Matériel d'exploitation.	61,000 »
TOTAL.	463,000 fr.

Pour trois lignes de moindre importance, les chemins de Nancy

à Sarrebruck, Metz à Thionville, Strasbourg à Wissembourg, en supposant la double voie posée, la dépense moyenne par kilomètre a été de 258,000 fr., répartis comme il suit :

Administration, frais généraux, etc.	10,000 fr.
Achats de terrain.	37,000 »
Terrassements et travaux d'art.	70,000 »
Bâtiments, ateliers et dépenses diverses.	22,000 »
Pour la double voie, y compris l'ensablement ainsi que les voies accessoires, plates-formes et changements de voie.	92,000 »
Matériel roulant.	27,000 »
Total.	258,000 fr.

En n'admettant qu'une seule voie, la dépense serait de 30,000 fr. moindre, soit de 228,000 fr.

Toutes les grandes artères, en France, sont exécutées ou sur le point de l'être ; nous n'avons plus à estimer, comme l'a fait M. Jullien, ce que pourraient coûter de nouvelles lignes de cette importance ; mais il reste encore un grand nombre de voies moins productives à établir. On peut les diviser en deux classes : les voies d'une importance à peu près égale à celle de la ligne de Paris à Mulhouse, et celles d'un produit un peu moins élevé, telles, par exemple, que les chemins de Blesmes à Gray, Dijon à Besançon, etc., etc.

En admettant que celles de la première classe seraient établies avec des rails du poids de 37 à 38 kilogrammes, comme les grandes artères à une seule voie, dans les conditions de pentes et de rayons de courbures généralement admises aujourd'hui (voir le chapitre du tracé), et celles de la seconde classe, avec des rails de 30 kilogrammes seulement[1] ; nous pensons que les chemins de la première classe ne coûteront généralement que 280,000 fr., soit :

En frais généraux, personnel, etc.	10,000 fr.
Terrains.	35,000 »
Travaux de terrassements et travaux d'art, clôtures, haies vives.	115,000 »
Bâtiments, ateliers et dépenses diverses.	20,000 »
Voie simple ballastée, voies accessoires, d'évitement, de garage.	70,000 »
Matériel roulant.	30,000 »
Total.	280,000 fr.

[1] Si les pentes sont trop fortes, il vaut mieux, même sur les chemins de deuxième classe, employer des rails de 37 kilog.

Ce prix est sensiblement plus élevé que le prix moyen des trois chemins de Nancy à Metz, Metz à Thionville et Strasbourg à Wissembourg, en supposant le prix d'une seule voie (228,000 fr.); mais il ne faut pas oublier que deux de ces chemins, ceux de Thionville et de Wissembourg, ont été établis dans des circonstances exceptionnellement favorables, les rails de ces chemins ayant été achetés à des prix très-faibles, et ceux du chemin de Wissembourg ne pesant que 30 kilogrammes, les travaux étant de peu d'importance et le matériel roulant n'étant calculé que pour un trafic inférieur à celui de Mulhouse. Le prix moyen ainsi établi est à peu près celui du chemin de Nancy à Metz.

Ceux de seconde classe coûteraient environ 210,000 fr. ainsi répartis :

Frais généraux et personnel	10,000 fr.
Terrains	25,000 »
Travaux d'art et terrassements	80,000 »
Bâtiments, ateliers et dépenses diverses	15,000 »
Voie simple ballastée, voies d'évitement, voies de garage et accessoires de la voie	55,000 »
Matériel roulant	20,000 »
Total	205,000 fr.

C'est à peu près le prix de revient des chemins allemands.

Nous avons supposé la dépense faite pour les achats de terrains inférieure à celle admise pour les chemins de première classe, parce que nous avons admis que le pays traversé par le chemin de fer était moins riche, moins peuplé ; celle pour les travaux d'art a été également réduite, dans l'hypothèse que l'on adopterait des pentes plus fortes et des rayons de courbures plus petits. Le matériel roulant a été proportionné au trafic présumé.

L'auteur des documents statistiques, sans faire de distinction entre les chemins à une voie de 1re et de 2e classe, établit le prix de revient d'un chemin à une voie, dans des conditions moyennes, de la manière suivante :

Frais généraux.	11,399 fr.	ou 5 p.	100 de la dépense [totale.
Acquisition de terrains pour deux voies.	30,718 »	13,5	
Terrassements et ouvrages d'art pour deux voies.	75,905[1] »	33,3	
Voie de fer et accessoires.	65,850[2] »	28,9	
Gares et dépendances.	10,000[3] »	4,4	
Dépenses diverses	10,103[4] »	4,4	
Matériel roulant.	24,000 »	10,5	
	227,975 fr.	100,00	

C'est, à 25 fr. près, le prix moyen des chemins de Nancy à Saarbruck, Metz à Thionville, et Strasbourg à Sarrebourg, en ne supposant qu'une voie unique.

La répartition de la dépense est aussi à peu près la même.

Pour une ligne à deux voies, dans des conditions moyennes, nous trouvons dans les documents statistiques le prix de revient suivant :

Frais généraux.	16,486 fr.	ou 5 p.	100 de la dépense [totale.
Acquisition de terrains.	30,718 »	9,3	
Terrassements et ouvrages d'art. . . .	89,390[5] »	27,1	
Voies de fer et accessoires.	120,700[6] »	36,6	
Total.	257,294	78,00	

[1] Dont, en terrassements, 53,939 fr. ou 71 pour 100, et, en ouvrages d'art, 21,966 fr. ou 29 pour 100.

[2] Dont, pour la voie de fer, 62,700 fr. ou 95 pour 100, et, pour les accessoires, 3,150 fr. ou 5 pour 100.

La dépense pour la voie de fer se subdivise elle-même en ballast, 17 pour 100; pose, 7 pour 100; voie proprement dite, 76 pour 100.

La dépense pour les accessoires se subdivise elle-même en plaques tournantes, 57 pour 100; changements de voie, 29 pour 100; signaux fixes et outillage de la voie, 14 pour 100.

[3] Dont, en gares de 1re classe, 5,000 fr. ou 50 pour 100; en gares de 2e classe, 1,200 fr. ou 12 pour 100; en gares de 3e classe, 3,800 francs ou 38 pour 100.

[4] Dont, en clôtures, maisons de garde et passages à niveau, 6,500 fr ou 64 pour 100; en mobilier, 2,400 fr. ou 24 pour 100; en alimentation de machines. 1,000 fr. ou 10 pour 100, et, pour le télégraphe électrique, 203 fr. ou 2 pour 100.

La dépense pour clôtures, maisons de garde et passages à niveau, se subdivise elle-même en clôtures, 49 pour 100; maisons de garde, 38,5 pour 100; passages à niveau, 13,5 pour 100.

La dépense pour le télégraphe électrique se subdivise elle-même en pose du fil, 50 pour 100; appareils, 50 pour 100.

[5] Dont, en terrassements, 67,424 fr. ou 75 pour 100, et, en ouvrages d'art, 21,966 fr. ou 25 pour 100.

[6] Dont, pour la voie de fer, 115,000 fr. ou 95 p. 100, et, pour les accessoires,

REPORT.	257,294	78
Gares et dépendances.	14,000[1] »	4,2
Dépenses diverses	10,418[2] »	3,2
Matériel roulant.	48,060 »	14,6
ENSEMBLE.	329,772 fr.	100,00

Nous terminerons ce chapitre en faisant observer qu'en créant le capital présumé nécessaire à la construction d'un chemin de fer, il ne faut pas oublier qu'un chemin ne doit pas être considéré comme entièrement terminé, parce que la voie a pu être livrée au public. Le capital des chemins de fer exploités ne s'est-il pas sensiblement accru depuis le jour de leur mise en exploitation, soit par suite d'accidents arrivés aux ouvrages d'art ou aux travaux de terrassements, accidents dont on ne saurait se garantir entièrement que par des dépenses excessives[3], soit aussi parce que l'exploitation fait naître des besoins imprévus d'agrandissement et d'amélioration?

Il ne faut pas, du reste, s'effrayer de l'énorme dépense qu'entraine l'établissement des chemins de fer, quand on songe aux immenses produits de leur exploitation.

3.700 fr. ou 5 pour 100. Les dépenses pour la voie de fer et pour les accessoires se subdivisent elles-mêmes comme il est indiqué à la note 3.

[1] Dont, en gares de 1re classe, 7,000 fr. ou 50 pour 100; en gares de 2e classe, 1,680 fr. ou 12 pour 100; en gares de 3e classe, 5,320 fr. ou 38 pour 100.

[2] Dont, en clôtures, maisons de garde et passages à niveau, 6,500 fr. ou 62 pour 100; en mobilier, 2,700 fr. ou 26 pour 100; en alimentation des machines, 1,000 fr. ou 10 pour 100, et, pour le télégraphe électrique, 218 fr. ou 2 pour 100.

La dépense pour clôtures, maisons de gardes et passages à niveau, se subdivise elle-même comme il est indiqué à la note 4.

La dépense pour télégraphe électrique se subdivise également en pose de fil, 85 pour 100, et appareils, 15 pour 100.

[3] Si un ingénieur calculait toujours les dimensions de ses ouvrages de manière à éloigner toute chance d'accident, il risquerait de se jeter dans des dépenses excessives. Aussi doit-il, tout en restant dans les limites de solidité raisonnables, attendre pour exécuter certains travaux que le temps en ait démontré la nécessité. Dans la construction des canaux, par exemple, on ne cherche pas à rendre les talus étanches dès l'ouverture. Ce n'est que lorsque les fuites se manifestent que l'on y remédie.

CHAPITRE VI

DES TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DES TRAVAUX D'ART

Nous avons vu que les chemins de fer à grande vitesse, dans l'état du moins où se trouve la science aujourd'hui, doivent remplir deux conditions importantes : la première, de se développer, autant que possible, en ligne droite ou en suivant des courbes de très-grand rayon ; la seconde, de ne présenter que des pentes faibles.

Nous avons dit qu'on ne peut y satisfaire dans les pays accidentés qu'en exécutant de grands travaux de terrassement et de grands travaux d'art.

Les premiers, différant, si ce n'est par leur nature, du moins par leur importance, de ceux auxquels donne lieu la construction des routes ordinaires, nécessitent des moyens beaucoup plus puissants, surtout en ce qui concerne le transport des terres à de grandes distances. Aussi le chemin de fer est-il devenu pour ce genre d'opération son propre auxiliaire, et a-t-on transporté les terres sur des chemins de fer provisoires avec des machines locomotives, comme on transporte sur le chemin définitif les voyageurs et les marchandises.

De là, un art nouveau et sur lequel on pourrait publier un volume entier. Il n'entre pas dans notre plan de le décrire[1]. Nous nous bornerons donc à une courte analyse des procédés et à de brèves réflexions sur les applications qui en ont été faites.

En Angleterre, il s'est formé, dès l'origine des chemins de fer, une classe d'entrepreneurs riches et habiles qui se sont adonnés

[1] Voir pour de plus amples renseignements le nouveau *Portefeuille de l'Ingénieur*, l'intéressant *Mémoire* publié en 1839, par M. Carl. Etzel, sur l'organisation des grands chantiers de terrassement, et enfin l'ouvrage allemand intitulé : *Seibenzehn Tafeln zur praktischen Anleitung zum Erdbau*, von L. Henz.

spécialement aux grands travaux de terrassement, concentrant toute leur attention sur l'amélioration des procédés et sur la formation de leur personnel, créant pour l'exécution un matériel spécial dont l'emploi leur était garanti pour un assez long avenir. Ces hommes, puissants par leurs ressources pécuniaires tout autant que par leur intelligence, ont apporté de grands perfectionnements dans la branche d'industrie dont ils s'occupaient.

Les ingénieurs qui ont construit les premiers chemins de fer aux environs de Paris ont manqué de ces auxiliaires pour les seconder. Ils ont été obligés de diriger en personne, presque sans intermédiaires, les premiers travaux de terrassement, pour lesquels il a fallu renoncer aux anciens procédés. Tout en se formant eux-mêmes à ce nouveau genre d'opérations, ils ont dû y former également leurs entrepreneurs, conducteurs, piqueurs et ouvriers. Les Compagnies ont dû fournir le matériel, et généralement, pour éviter une dépense trop onéreuse, elles ont été dans la nécessité de se servir de leurs rails définitifs pour les terrassements.

La construction du chemin de Rouen par une Compagnie anglaise a ouvert une ère nouvelle, et les ingénieurs des nouveaux chemins de fer se sont trouvés placés, à cet égard, dans de meilleures conditions que leurs devanciers.

D'habiles et riches entrepreneurs belges, MM. Parent, Schaken et Cie, ont exécuté la plupart des travaux du chemin de fer de Strasbourg, des lots très-importants sur les chemins du Nord et de Lyon, le chemin de Lyon à Avignon et le chemin de Mulhouse tout entiers.

Cette organisation du travail, à laquelle on est conduit par l'expérience des Anglais en ce qui concerne les travaux de chemins de fer, nous paraît être une des premières conditions de succès des grandes entreprises.

Les terres provenant des tranchées sont portées sur l'axe du chemin pour composer les remblais, ou déposées à une distance plus ou moins grande des bords. Dans le premier cas, on travaille *par voie de compensation*; dans le second, *par voie de dépôt*. On élève aussi des remblais avec des terres *empruntées* dans le voisinage: c'est ce qui s'appelle travailler *par voie d'emprunt*.

Le mode d'exécution par voie de dépôt et d'emprunt est toujours plus coûteux que celui par compensation, quand les distances auxquelles les terres doivent être transportées sur l'axe de la route ne sont pas considérables et que les terrains où l'on doit déposer les terres ou les emprunter ont quelque valeur; mais il peut l'emporter sur le second, même au point de vue de la dépense, quand ces distances deviennent très-grandes, et, dans tous les cas, il est fort expéditif. Aussi l'a-t-on appliqué au percement des tranchées et à la confection des remblais d'un grand nombre de chemins de fer, bien que, pour la construction des routes et des canaux, il n'en ait été fait usage que rarement.

La méthode des dépôts et des emprunts a d'ailleurs, pour l'exécution des chemins de fer, d'autres avantages que nous avons déjà signalés au chapitre du tracé.

La substitution, pour les terrassements, des waggons roulant sur un chemin de fer, aux tombereaux roulant sur le sol, oblige à modifier la disposition des ateliers de chargement et de déchargement. C'est dans les changements que nécessite cette disposition que se présentent les principales difficultés du travail au waggon.

Les tombereaux marchant isolément et sur le sol naturel peuvent se charger en un point quelconque de la tranchée et se diriger, par une infinité de routes différentes, vers les points de déchargement. Ils peuvent également se vider en un point quelconque du remblai. Les waggons, au contraire, qui marchent toujours par convois et sur des voies en fer, sont nécessairement chargés et déchargés à l'une des extrémités de ces voies ou sur le côté, l'atelier de chargement ou l'emplacement du remblai à exécuter ne devant pas être éloigné de la voie, et ils ne suivent que la route que leur tracent les rails.

Le tombereau, chargé dans la tranchée, est immédiatement remplacé par un tombereau vide, presque sans perte de temps ; la manœuvre, au contraire, pour remplacer un convoi chargé ou même un waggon isolé, exige toujours plusieurs minutes.

Ces seules observations suffisent pour montrer combien l'organisation des grands chantiers de terrassement au waggon doit différer de celle des chantiers de terrassement au tombereau ; nous allons

jeter un coup d'œil rapide sur l'organisation adoptée ordinairement.

Creusement des tranchées. — Les tranchées ouvertes au tombereau sont attaquées en un grand nombre de points simultanément, au moyen d'excavations qui en occupent toute la largeur et d'où les tombereaux extraient les terres par des rampes douces. Lorsqu'on veut employer les waggons, on commence presque toujours par faire, suivant l'axe ou le long des talus de la tranchée projetée, une petite tranchée auxiliaire nommée *goulet* (*gullet*) ou *cunette*, assez large pour donner passage à un waggon, et dont la profondeur varie avec les ondulations du sol. Il peut se présenter deux cas : ou la hauteur maxima de la tranchée définitive est peu considérable, 5 ou 6 mètres, par exemple ; ou bien elle est beaucoup plus grande. Dans le premier cas, on donne à la cunette toute la profondeur de cette tranchée, en sorte que le fond de la cunette est aussi celui de la tranchée, comme nous l'avons indiqué fig. 11 B. Les parois, dans

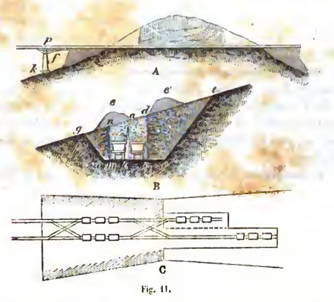


Fig. 11.

les terrains qui ne sont pas coulants, peuvent être verticales ou à peu près. Le fond doit avoir une pente descendante d'environ 3 millimètres vers son extrémité ouverte, pente qu'il faut toujours se

donner, lors même que ce ne serait pas exactement celle de la tranchée définitive.

Les terres provenant du percement de la cunette *a b c d* sont extraites à la brouette ou au tombereau, ou bien elles sont relevées à la pelle, sur les bords le long desquels on les dépose, en *cavaliers*, *e* et *e'*.

La cunette étant ouverte sur une certaine longueur, on pose sur le fond une voie en fer que l'on prolonge jusqu'au point de déchargement sur le remblai. Cette voie, dans la cunette, a naturellement la pente du fond, c'est-à-dire 3 millimètres. Quant à la pente sur le remblai, elle dépend de la hauteur de ce remblai. Si cette hauteur n'est pas très-grande, comme nous l'avons supposé (fig. 11, A), on pose la voie sur la crête même du remblai en lui conservant la pente de 3 millimètres.

Des waggons roulant sur ce chemin de fer provisoire emmènent à l'extrémité du remblai, pour le prolonger, les terres composant les cavaliers, ainsi qu'une partie de celles que l'on abat en prolongeant la cunette, et qui peuvent se charger dans les waggons voisins de l'extrémité fermée.

Différents modes de déchargement. — Le déchargement s'opère de deux manières différentes. Chaque waggon, après s'être vidé à l'extrémité du remblai, passe dans une gare d'évitement pour faire place au waggon suivant, ou bien on le pousse en avant sur un pont en charpente *p* (fig. 11, A), que l'on appelle pont de décharge.

Déchargement à l'anglaise. — Dans le premier cas, le déchargement s'opère à l'anglaise de la manière suivante : à l'extrémité du remblai, les rails sont inclinés (fig. 12, A), et on y empile un certain nombre de traverses qui barrent le chemin. Quand un train arrive au remblai, il est reçu dans une voie de garage; on attelle alors un cheval à un des waggons au moyen d'une prolonge terminée par un crochet tel que le représente la figure 12, C, et combiné de manière qu'il se détache du waggon quand on tire la corde *a* (fig. 12, C). On fait partir le cheval au trot, et, arrivé près de l'extrémité du talus, on détache la prolonge en tirant la corde *a*; le cheval se jette de côté hors de la voie, on lève en même temps le

Terrassement de la tranchée de Clamart

Chemin de fer de Paris à Versailles (Rive gauche)

Pag. 337

crochet qui fixe la caisse au train, et le waggon, brusquement arrêté par les traverses empilées, se porte en avant en vertu de la vitesse acquise ; la caisse bascule et prend une inclinaison égale à celle que comporte la construction du véhicule, augmentée de l'inclinaison de la voie ; les terres glissent et le déchargement se fait tout seul.

Quelquefois, afin d'augmenter l'inclinaison de la caisse au versement, on dispose à l'extrémité de la voie un gradin, comme l'indique la seconde figure 12, B.

Le déchargement se fait ainsi successivement pour chaque waggon.

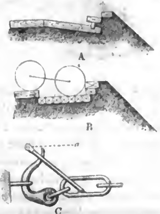


Fig. 12.

En supposant en moyenne une distance de 150 mètres entre le garage et le déchargement, et admettant qu'un cheval au trot parcoure une distance de 5,000 mètres par heure, le temps employé à l'aller et au retour sera de quatre minutes environ, et le déchargement proprement dit, consistant à relever le waggon et à redresser la caisse, étant d'environ une minute, le déchargement, y compris le transport d'un waggon, se fera en cinq minutes.

On est arrivé à décharger par cette méthode et avec une seule voie cent cinquante waggons par jour, mais c'est une exception. Avec un bon matériel et de l'ordre dans le chantier, on peut faire cent vingt waggons. En général, on ne doit compter que sur cent waggons par jour [1].

Quand les voies de déchargement sont multipliées, elles se gênent un peu réciproquement. Avec deux voies, on peut compter sur

[1] Les baleines employées sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive gauche) ont coûté 4,500 fr. pièce. D'autres baleines à deux voies, dont on s'est servi sur le chemin d'Orléans à Vierzon, ont été payées 5,000 fr. Les petites baleines du chemin de Lille à la frontière belge étaient fort économiques. Elles ne sont pas revenues à plus de 300 fr., mais elles n'avaient que 6 mètres de hauteur. Ce n'est pas seulement l'installation de la baleine qui est coûteuse, c'est aussi l'entretien et surtout la manœuvre.

cent quatre-vingts waggons; avec trois voies, sur deux cent quarante waggons par jour.

Pont de décharge. — Le pont de décharge (fig. 15) est com-

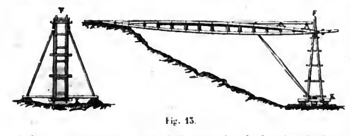


Fig. 15.

posé de deux longuerines parallèles garnies de bandes de fer, qui font suite aux files de rails de la voie, et reposent, par une de leurs extrémités, sur le remblai, et, par l'autre, sur une ferme F. Cette ferme elle-même repose sur un chariot K, pouvant rouler sur un petit chemin de fer provisoire posé sur le sol au bas du remblai. Les terres se déchargent entre les deux longuerines. Le pont doit pouvoir porter tout un convoi de waggons vides. Le déchargement de tout le convoi terminé, on ramène les waggons tous ensemble au point de chargement.

A mesure que le remblai se prolonge, on pousse le pont de décharge en avant en faisant rouler le chariot K, et on prolonge le petit chemin de fer qui porte ce chariot en détruisant la partie postérieure qui est recouverte de terre. On déplace également, de temps en temps, les changements de voie, afin de faciliter les manœuvres.

Avec les ponts de décharge, nous avons déchargé, à la tranchée de Clamart, trois cents waggons en dix heures sur une voie, ce qui est le triple de la quantité déchargée moyennement en pareille circonstance par la méthode anglaise. Au chemin de Saint-Germain, on est également parvenu à décharger trois cents waggons en dix heures sur chaque pont. Sur les petites baleines employées au chemin de Lille à la frontière belge, on déchargeait vingt waggons par heure, soit deux cents waggons en dix heures sur une seule voie. *Le déchargement au moyen des ponts s'opère donc beaucoup plus rapidement que par la méthode anglaise, et il semble qu'il peut*

être employé avec avantage quand les terrassements doivent être exécutés dans un très-bref délai. Toutefois la grande dépense qu'il exige l'ont fait presque généralement abandonner. On ne peut pas d'ailleurs faire usage de ces ponts de décharge pour des remblais de moins de trois mètres, surtout sur un terrain fortement accidenté, où il faudrait les déplacer sans cesse, ni pour des remblais dont la hauteur dépasse dix mètres. Nulle part sur la ligne de Mulhouse, où le cube des terrassements est considérable, bien que les entrepreneurs aient eu à exécuter d'immenses tranchées dans un bref délai, on n'en a fait usage. On a généralement préféré le déchargement à l'anglaise.

Suite du creusement. — Une partie des cavaliers étant enlevée et portée en remblai, on attaque à droite ou à gauche de la cunette une nouvelle tranche *a b m n* (fig. 11, B), dont les terres sont versées dans les waggons, et on pose une seconde voie provisoire. Ces deux voies étant réunies par des voies obliques dans les deux directions, fig. 11 C, le déchargement peut se faire en même temps aux deux extrémités, et l'une ou l'autre peut servir à garer les waggons vides. Deux convois sont placés en même temps devant les fronts de chargement. On les envoie successivement à la décharge, et les ouvriers chargeurs, afin de ne pas rester désœuvrés au moment du départ de l'un des convois, passent sur des planches d'un côté à l'autre du goulet pour charger l'autre convoi.

Quand la tranche *a b m n* est enlevée sur une certaine longueur, on abat les massifs trapézoïdaux *g o m n* et *d c s t* de manière à compléter le percement de la tranchée sur toute sa largeur, et les terres provenant de ces massifs sont chargées dans les waggons circulant sur les deux voies provisoires posées dès l'origine, au moyen de brouettes, ou dans des waggons roulant sur de nouvelles voies auxiliaires posées latéralement. On trouve ordinairement plus économique d'employer les brouettes.

Un certain nombre de waggons versent leur contenu *par bout* et servent à former le *noyau* du remblai ; les autres versent *de côté* et sont employés à élargir ce noyau.

La *reprise* des cavaliers étant toujours une opération coûteuse, et le dépôt des terres en dehors de la crête des talus donnant lieu

aussi, dans certains cas, à des dépenses considérables, on n'a recours au retroussement des terres, pour la totalité ou pour une partie de la cunette, que si l'on est très-pressé. Dans le cas contraire, on perce la cunette en l'attaquant seulement à l'extrémité. On établit alors des gradins à cette extrémité, et les terres sont chargées directement dans les waggons ou dans des waggonnets, soit *par bout*, soit sur le côté. Quelquefois aussi on retrousse une partie seulement des terres de la cunette, et on charge l'autre partie directement dans les waggons ou dans les waggonnets.

Les parois des cunettes dans le roc vif et dans certains terrains résistants se maintiennent pendant plusieurs mois sous un angle droit ou au moins sous un angle qui se rapproche beaucoup de l'angle droit. Dans d'autres terrains, elles tendent à prendre une inclinaison plus prononcée, mais cette inclinaison, sous laquelle les terres ne doivent se soutenir que pendant un espace de temps assez limité, est toujours inférieure à celle que l'on donne aux talus de la tranchée et qu'ils doivent conserver indéfiniment.

Dans les tranchées glaiseuses, il ne faut pas attendre que la cunette ait été ouverte sur une grande longueur pour abattre les massifs latéraux et découvrir les talus définitifs, qui doivent toujours, dans ce cas, être asséchés. L'*assainissement* des talus doit suivre de près le percement de la cunette.

Quelquefois même au chemin de Mulhouse, en pareille circonstance (tranchées de la Chaume, du Chifflard et de Montesson), M. l'ingénieur Masson a supprimé la cunette, et procédé par voie de *décapage*, c'est-à-dire en découpant le déblai par tranches variables à partir du sol naturel, de façon à atteindre successivement les divers bancs argileux et dressant le talus suivant l'approfondissement du déblai. Les assainissements se font ainsi graduellement, et l'on arrive à fond de tranchée avec des drainages complets et des talus à peu près définitifs[1].

[1] L'opération du décapage n'exclut pas les cunettes d'une manière absolue. Il est même essentiel qu'il y ait deux étages pour le chargement des waggons au moyen des brouettes, mais le niveau des voies de l'étage inférieur doit rester subordonné à la position des bancs à assainir comme à la profondeur de la première tranche attaquée. La plate-forme de celle-ci doit rester un peu au-dessus des bancs argileux, et être assainie provisoirement par quelques rigoles couvertes, afin qu'aucun glissement ne s'opère dans la cunette des waggons. (Note de M. Masson.)

Si la tranchée est très-profonde et que le remblai ait une grande hauteur, on ne donne à la cunette *a b d e* (fig. 14, A) qu'une partie de la hauteur de la tranchée. On descend les terres de la hauteur du goulet jusqu'à la crête du remblai sur une voie inclinée reposant sur un massif le long de l'un des talus *v v'* (fig. 14, B). Comme le remblai a souvent une grande hauteur, on le monte en

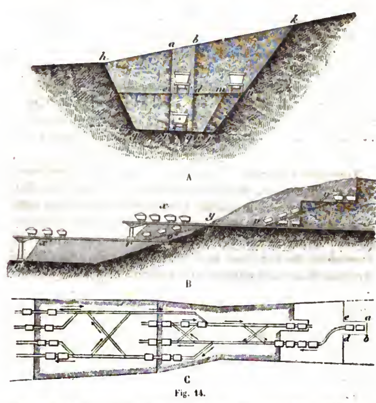


Fig. 14.

deux assises. Une partie des terres servant à composer l'assise supérieure *x y r z* est portée à l'extrémité de cette assise sur une voie établie à la crête, et une autre partie servant à composer l'assise inférieure *x' r' z* par une voie inclinée *v''* descendant le long du talus de l'assise supérieure.

La cunette *a b d e* (fig. A) étant parvenue à une certaine distance

de son extrémité ouverte, et une partie des massifs latéraux étant enlevée de manière que la tranche inférieure de la tranchée *n i g p*.... soit découverte dans toute sa largeur sur une certaine longueur, on ouvre dans la tranche inférieure une seconde cunette en arrière de la première jusqu'au fond de la tranchée. Cette seconde cunette sert à exploiter la tranche inférieure *n i g p*, comme la cunette supérieure à exploiter la tranche supérieure *h i n k*.

On laisse subsister le massif *m n o p*, qui soutient la voie inclinée servant à descendre les terres de la tranche supérieure jusqu'à ce que cette tranche soit entièrement exploitée.

Les figures B et C indiquent la disposition des voies dans la tranchée et sur le remblai. On y voit que le nombre des points de déchargement est de deux à l'extrémité de l'assise supérieure, et de quatre à l'extrémité de l'assise inférieure. Le cube des terres versées aux extrémités de chacune des assises doit être tel, que ces deux assises s'accroissent en même temps de longueurs égales.

Transport des terres. — Il est évident que l'on peut se donner à volonté l'inclinaison des voies provisoires posées sur le talus de la tranchée ou sur celui du remblai. En portant cette inclinaison à plus de 2 centimètres par mètre, on peut remonter, dans le système des plans automoteurs, les waggons vides à l'aide des waggons pleins qui descendent. On évite ainsi la dépense d'un moteur; mais la construction et surtout l'entretien de ces plans automoteurs sont fort coûteux. Quand on les répare, il faut interrompre le service, ce qui réduit à l'inaction un grand nombre d'ouvriers; enfin ils occasionnent fréquemment des accidents; aussi préfère-t-on généralement ne donner à la voie que 7 ou 8 millimètres de pente. Les waggons pleins descendent alors par l'impulsion seule de la gravité avec une grande vitesse, et les waggons vides sont remontés par des chevaux.

Sur le chemin de Strasbourg, on a percé un grand nombre de tranchées à l'aide des waggons, et le service s'est toujours fait avec des chevaux, même sur des pentes dépassant 2 centimètres.

Dans la tranchée de Chamarande, près Chaumont, sur le chemin de Blesmes à Gray, la fouille ayant lieu dans un roc très-dur entièrement abattu à la poudre, on a reconnu, pour l'extraction à une certaine profondeur de déblais que l'on se proposait de retrousser, à

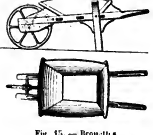
l'emploi de plans inclinés sur lesquels le transport s'opérait au moyen de machines fixes.

Les machines fixes ont été également employées en Angleterre au chemin de Bristol, pour monter les terres sur la crête d'un remblai.

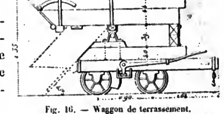
La principale difficulté à vaincre dans les travaux de terrassement au waggon consiste à établir l'harmonie entre la fouille des terres, leur chargement et leur déchargement, de telle manière que les ouvriers perdent le moins de temps possible. Un des meilleurs moyens d'y parvenir est d'employer simultanément le mode d'exécution par compensation et celui par voie de dépôt et d'emprunt.

Les travaux par voie de dépôt et d'emprunt, dont on peut diminuer ou augmenter l'activité sans inconvénient, servent à fournir de l'occupation aux ouvriers lorsqu'ils ne peuvent être employés au percement de la tranchée, au chargement ou au déchargement des waggons.

Lorsque les terres des massifs latéraux à la cunette sont transportées dans les waggons au moyen de brouettes, il est très-important d'employer les brouettes généralement en usage en Angleterre et représentées figure 15. Elles se déchargent beaucoup plus facilement dans les waggons que les brouettes françaises.


Fig. 15. — Brouettes.

La figure 16 représente un waggon de terrassement. La caisse se renverse comme celle d'un tombereau, tantôt sur le devant entre les roues, tantôt sur le côté par-dessus les roues.


Fig. 16. — Waggon de terrassement.

Les principales conditions à remplir dans la construction des waggons de terrassement peuvent se résumer de la manière suivante :

1° Éviter que le bord supérieur de la caisse se trouve à plus de

$1^m,60$ au-dessus des rails, afin que les ouvriers puissent le charger à la pelle sans trop d'efforts;

2° Faire en sorte que les caisses versent sous un angle assez grand pour que les terres glaises humides puissent couler facilement sur le fond lorsque la caisse est renversée;

3° Répartir autant que possible le poids également sur les quatre roues;

4° Répartir le poids de la caisse chargée à droite et à gauche de l'axe de bascule, de manière qu'il soit un peu moins considérable du côté de la porte que de l'autre;

5° Conserver aux roues un diamètre assez grand pour qu'elles puissent passer facilement par-dessus les pierrailles et les autres obstacles qui souvent obstruent la voie, et qu'il ne soit pas trop difficile de les mettre en mouvement;

6° Faire en sorte que la terre soit lancée, au moment du renversement de la caisse, à une certaine distance du waggon.

C'est afin de remplir cet ensemble de conditions que l'on a imaginé le waggon représenté figure 17, dans lequel l'angle de chute

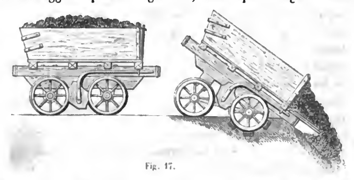


Fig. 17.

est augmenté par une espèce d'ornière artificielle dans laquelle tombent les roues d'avant du waggon à décharger.

On se sert aussi de brouettes pour charrier les terres déposées sur les bords des tranchées. Les Anglais emploient en pareil cas un mécanisme fort ingénieux afin de diminuer la fatigue de l'ouvrier qui est obligé de monter la charge sur la rampe souvent très-inclinée des talus.

Ce mécanisme est représenté figure 18.

Fig. 18. — Chantiers de terrassements anglais.

L'ensemble d'un appareil se compose de deux planchers, à la partie supérieure desquels sont fixés deux poteaux. Chacun de ces poteaux est muni de deux poulies : l'une au sommet, perpendiculaire à l'axe du chemin; l'autre dans le bas, parallèle à cet axe. C'est la même corde qui, après avoir passé par les poulies des poteaux, s'attache, d'une part, à une brouette pleine, et de l'autre à une brouette vide. Cette corde, fixée à la brouette pleine, passe d'abord sur l'une des poulies placées dans le haut du poteau correspondant, descend verticalement le long de ce poteau, puis est renvoyée horizontalement par la poulie inférieure; de là elle se dirige parallèlement à la crête de la tranchée, monte, après avoir passé sur une troisième poulie, le long du second poteau, et enfin, après avoir passé sur la poulie supérieure de ce second poteau, se développe sur un second plancher incliné, et va s'attacher à une brouette vide. Des chevaux, marchant d'un poteau vers l'autre en tirant la corde horizontalement tantôt de droite à gauche, tantôt de gauche à droite, font monter la brouette pleine successivement sur l'un ou l'autre des deux planchers voisins. Un homme sert à la conduire de l'atelier jusqu'au bas du plancher, à la guider sur le plancher, à la vider lorsqu'elle est arrivée au sommet, et à la ramener. Lorsqu'il gravit le plancher, il est traîné avec la brouette par les chevaux; lorsqu'au contraire il descend avec la brouette vide, il aide les chevaux de son poids et de l'action qu'il peut exercer sur cette brouette.

On n'a, à notre connaissance, adopté cette organisation de chantiers sur aucun chemin de fer français. Indépendamment des brouettes, des tombereaux et des waggons de différentes dimensions, on se sert beaucoup aujourd'hui des waggonnets représentés figures 19. Ces waggonnets remplacent, dans beaucoup de cas, avantageusement les tombereaux, et opèrent des transports à des prix sensiblement équivalents.

Dans certaines circonstances, sur des pentes qui s'élèvent jusqu'à 4 centimètres, et quand les distances commencent à être trop grandes pour des brouettes, ils peuvent être employés avec avantage, et réaliser une économie notable.

Ces petits véhicules, qui pèsent moyennement 115 kilogrammes,

sont composés d'une caisse, d'un châssis auquel est adaptée une

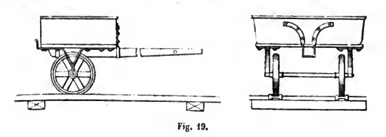


Fig. 19.

flèche et d'une paire de roues en fonte. La contenance de ces waggonnets est d'environ $0^{m},28$ cubes; mais, eu égard au foisonnement, ils ne contiennent guère que de $0^{m},16$ à $0^{m},22$ mesurés au déblai suivant la nature du terrain.

On trouvera plus loin, au chapitre du matériel, quelques nouveaux détails sur les waggons de terrassement.

On sait que la nature des véhicules et des moteurs employés pour le transport des terres varie suivant les circonstances. Pour de faibles distances, on se sert exclusivement de brouettes; pour une distance plus considérable, on trouve avantageux d'y substituer le tombereau attelé d'un seul cheval.

Si la distance augmente encore, le tombereau à deux chevaux remplace celui à un cheval; puis viennent les waggons traînés par des chevaux; puis enfin les waggons traînés par des locomotives. Le transport au waggon, qu'il soit fait par des chevaux ou par des machines locomotives, ne devient avantageux qu'autant que le cube à enlever atteint un certain chiffre.

Il était donc curieux de savoir dans quels cas il convenait d'employer les brouettes, les tombereaux, les waggons traînés par des chevaux, et enfin les waggons traînés par des locomotives.

M. Brabant, l'un de nos plus habiles conducteurs des ponts et chaussées, qui a dirigé de grands travaux de terrassement, successivement, au chemin de fer de Versailles (rive gauche), de Lille à la frontière belge, et d'Orléans à Bordeaux, et qui, aujourd'hui, remplit les fonctions d'ingénieur chef d'arrondissement sur les chemins de fer de l'Est, s'est livré à de curieuses recherches, dont il a ex-

posé les résultats dans un Mémoire inédit qu'il a bien voulu nous communiquer. Les paragraphes suivants sont extraits de ce Mémoire.

Les transports par les moyens ordinaires, la brouette et le tombereau, n'exigeant que des frais d'établissement peu élevés, et qu'un matériel susceptible d'être employé sur tous les chantiers et même pour les usages les plus divers, il en résulte que les prix à appliquer sont toujours sensiblement les mêmes, quelles que soient les quantités à transporter.

Il n'en est pas de même pour les transports en waggon sur voies provisoires, parce qu'ils exigent des frais d'établissement considérables, qui sont bien loin de croître dans le rapport du volume transporté, et dans lesquels on ne peut rentrer qu'avec des cubes d'une certaine importance.

Il suit de là que, plus les volumes à transporter sont faibles, plus les prix de transport sont élevés, et que, par suite, à moins d'avoir un matériel sur place, les transports par voies provisoires cessent d'être praticables pour des cubes qui n'atteignent pas au moins 25,000 mètres.

D'un autre côté, il y a, avec les transports au waggon, à la charge et à la décharge, des frais de remaniement et diverses mains-d'œuvre qui n'existent pas pour les autres modes de transport, et qui s'élèvent de 20 à 25 centimes par mètre cube. A cette dépense il faut ajouter celle des waggons, des changements de voies et quelquefois d'autres appareils dont on a besoin sur les points de chargement et de déchargement. Tous ces frais étant indépendants des distances parcourues, il s'ensuit que, pour de faibles distances, les transports au waggon coûtent plus que ceux au tombereau.

Les distances minima, variables suivant les volumes à transporter, peuvent descendre pour des cubes de 25,000 mètres à 500 mètres, et pour des cubes de 100,000 mètres à 300 mètres.

Quoi qu'il en soit, il arrive souvent que les transports au tombereau étant impraticables, soit à cause de la nature ou de la position du sol, soit à cause de la saison, on est conduit à avoir recours au transport au waggon pour des volumes et pour des distances fort

au-dessous de celles qui sont indiquées ci-dessus comme un minimum.

Il suit de la multiplicité des éléments qui doivent entrer dans le calcul des transports au waggon, dans différents cas, et de la complexité de quelques-uns, que les formules ne peuvent être rigoureusement établies que pour des cas spéciaux et qu'après une estimation préalable des frais de toute espèce, et notamment de ceux de matériel, pose de voies, dépose et repose, etc.

Aussi les formules employées par plusieurs ingénieurs placés dans des conditions diverses ne sont-elles pas exactement semblables. Néanmoins les différences ne sont pas tellement grandes, que M. Brabant n'ait jugé utile de prendre la moyenne des résultats que lui ont fournis trois de ces formules, pour déterminer, au moins par approximation, les cubes et les distances moyennes pour lesquels les différents modes de transport deviennent avantageux.

Le tableau suivant est extrait d'un tableau beaucoup plus complet qu'il a donné.

DÉPENSE POUR LE TRANSPORT D'UN MÈTRE CUBE DE TERRE OU DE BALLAST, PESANT ENVIRON 1,600 KILOGRAMMES.

A UNE DISTANCE DE	A LA BROUETTE.	SUR TERRAIN NATUREL.		SUR VOIES PROVISOIRES.		SUR VOIES DÉFINITIVES.	
		au CAMION	au TOMBEREAU.	AU WAGON		CUBE DE 20 000m au wagon traîné par des locomotives.	
		traîné par des hommes.	traîné par des chevaux.	traîné par des chevaux au pas.	traîné par des locomotives, vitesse de 12 kilomètres à l'heure.	Tout compris.	Dépense des voies non comprise.
m.							
50	0,225	0,225	»	»	»	»	»
100	0,450	0,350	0,120	0,515	0,596	0,460	0,455
140	0,630	0,450	0,468	0,563	0,610	0,464	0,457
160	0,720	0,500	0,492	0,572	0,618	0,466	0,456
200	0,900	0,600	0,510	0,590	0,632	0,471	0,460
300	»	0,850	0,660	0,635	0,668	0,480	0,465
500	»	1,350	0,900	0,725	0,740	0,500	0,475
800	»	2,100	1,260	0,860	0,848	0,530	0,490
1,000	»	2,600	1,500	0,950	0,920	0,550	0,500

Il résulte de ce tableau :

1° Qu'à la distance de 100 mètres, le camion traîné par des hommes est préférable à la brouette, et qu'il commence à le devenir dès qu'on dépasse la distance de 30 mètres.

2° Que les tombereaux traînés par des chevaux deviennent préférables aux camions traînés par des hommes à la distance de 160 mètres seulement. A cette même distance, la locomotive elle-même, sur voies définitives, devient préférable au tombereau, pourvu, toutefois, que le cube à enlever soit de 20,000 mètres au moins.

3° Qu'à une distance de 300 mètres, le cube à enlever étant d'au moins 10,000 mètres, l'usage des waggons traînés par des chevaux sur voies provisoires devient plus économique que celui des tombereaux.

4° Que la locomotive sur voies provisoires ne doit remplacer les chevaux qu'à la distance de 6 à 700 mètres.

Les calculs de M. Brabant ont été faits dans la supposition de waggons portant 2 mètres cubes, et du prix de 12 fr. pour tombereau attelé de deux chevaux. Le temps perdu à la charge et à la décharge étant de quinze minutes, et les deux chevaux pouvant traîner 0,6666... en parcourant 30,000 mètres par jour.

Nous donnons aux documents les formules de M. Brabant, accompagnées de renseignements fort intéressants sur l'usure des rails employés pour les terrassements.

Les limites indiquées plus haut n'ont rien de bien absolu, parce que les circonstances, et notamment les frais d'établissement résultant de l'adoption d'un mode de transport quelconque, obligent à ne faire, sous ce rapport, que le moins de changements possible.

C'est ainsi que, lorsqu'on veut faire usage des locomotives pour des transports à grande distance, on commence souvent à s'en servir à de très-faibles distances, auxquelles leur emploi est onéreux, parce qu'il serait encore plus onéreux de monter un service de chevaux qu'il faudrait faire disparaître très-peu de temps après.

En général, pour obtenir un minimum dans les dépenses, il faut, quand les modes de transport offrent de l'incertitude sous le rapport des dépenses, ne les entreprendre qu'après s'être éclairé au

moyen d'estimations différentes, toutes suivant les modes de transport jugés les plus économiques.

Les plus grandes tranchées connues sont : la tranchée de Tring sur le chemin de Birmingham, cubant 1,100,000 mètres; celle de Gadelbach sur le chemin d'Ulm à Augsbourg, cubant 1,000,000 de mètres; celle de Tabatsofen, qui a fourni 860,000 mètres cubes de déblai; la tranchée de Cowran, sur le chemin de Carlisle, dont on a extrait 700,000 mètres cubes; celle de Blisworth, sur le chemin de Birmingham, cubant 620,000 mètres; celle de Poincy, au chemin de Strasbourg, cubant 540,000 mètres, celle de Pont-sur-Yonne, au chemin de Lyon, cubant 470,000 mètres; et la tranchée de Clamart, sur le chemin de Versailles (rive gauche), dont le cube était de 400,000 mètres environ.

Tranchée de Clamart. — La figure 20 représente une coupe des travaux de la tranchée de Clamart. Après avoir percé le goule A en retroussant les terres, on a enlevé les terres en B et C sur une

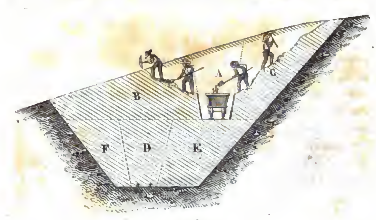


Fig. 20.

certaine longueur, puis on a ouvert le goulet D et enlevé les terres en F et en E. Le remblai a été fait en deux assises; on a descendu les terres de A, B et C au niveau supérieur du remblai au moyen d'un plan automoteur établi dans la tranchée, et du niveau supérieur du remblai à celui de la tranchée au moyen d'un second plan automoteur placé sur le remblai. On est parvenu à enlever, par une seule

extrémité de cette tranchée, à transporter à près d'une demi-lieue de distance et à décharger en remblai, près de 1,400 mètres cubes pendant les grands jours d'été.

Il est très-rare que l'on extraye un pareil cube par une seule extrémité, et l'on n'a atteint ce chiffre à la tranchée de Clamart qu'en employant des moyens excessivement coûteux; on trouvera dans les documents du *Portefeuille* le cube moyen fait dans les tranchées du chemin de Mulhouse, avec le nombre de points de décharge.

En général, on ne dépasse guère la moyenne de 800 mètres cubes par jour, en sorte qu'une tranchée cubant 400,000 mètres et pouvant être attaquée en même temps aux deux extrémités, n'exigerait pas plus d'une campagne pour son complet achèvement, même sans effectuer de dépôts, tandis que les travaux pour ouvrir la seconde et la troisième des tranchées dont nous venons de parler ont duré plusieurs années.

Tranchée de Pont-sur-Yonne. — La figure 21 représente le profil en long et le plan du terrain dans lequel la tranchée de Pont-sur-Yonne a été ouverte en quatre cent quatre-vingts jours par MM. Parent et Schaken. La ligne *a*, *a' b*, est le profil du chemin. La profondeur maxima de la tranchée étant de 20 mètres, les travaux ont été exécutés sur deux étages. L'étage supérieur des déblais est indiqué dans le profil par des hachures horizontales; l'étage inférieur par des hachures inclinées. Afin de pouvoir transporter les déblais provenant de l'étage supérieur entre les profils 62 et 76 sur le remblai de gauche (hachures verticales), il fallut élever un remblai provisoire de 8,000 mètres cubes entre les profils 56 et 62. La tranchée a été attaquée à la fois en cinq points différents *c d e f* et *g*. Les terres extraites ont donc d'abord servi à former le remblai auxiliaire, puis l'excédant a été porté sur le remblai d'aval *a* par un chemin de fer *d* K *r* que l'on a établi en grande partie dans les anciens fossés de la ville, qui suivaient cette direction et qu'il a suffi d'agrandir. Les terres extraites en *c* et en *e* ont été directement emmenées sur le remblai *a*; néanmoins une partie des terres provenant du chantier *e* a été retroussée à la brouette en D.

Les terres extraites en *f* et en *g* ont été portées sur le remblai d'amont *b*, celles du chantier *g* en suivant l'axe du chemin, celles

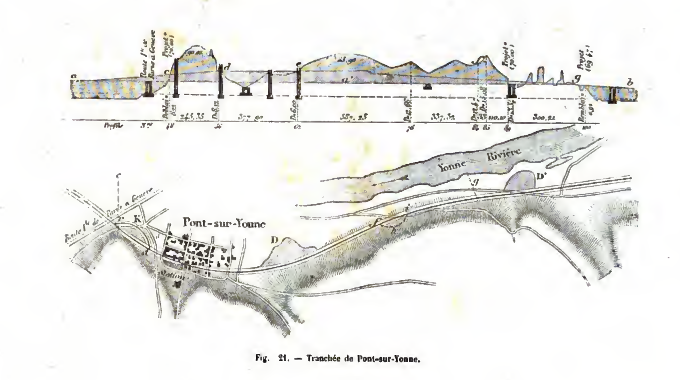


Fig. 21. — Tranchée de Pont-sur-Yonne.

du chantier *f* en passant par un chemin de fer *f h i*, établi sur le flanc du coteau à gauche du chemin, entre les profils 85 et 89 et dans un petit souterrain auxiliaire de 45 mètres de longueur (entre les profils 84 et 85), et reliant l'axe du chemin avec la tranchée auxiliaire des profils 85 et 89.

Le remblai *a* a été exécuté en deux assises, afin qu'il conservât assez de largeur à la crête pour recevoir quatre voies nécessaires au déchargement des déblais provenant des chantiers *c d* et *e*. Le remblai *b*, par contre, ne recevant que les terres des deux chantiers *f* et *g*, a pu être élevé en une seule couche ; néanmoins il a fallu porter une partie des terres en dépôt D'. Ce dépôt a été exécuté au waggon.

Le cube maximum de terre fouillée et enlevée a été de 2,850 mètres en un jour ; la distance moyenne de transport était de 1,800 mètres, la distance maxima de 3,500 mètres.

Tranchée du Dockemberg. — La tranchée du Dockemberg au chemin de Mulhouse est curieuse en ce qu'un cube considérable, déposé dans le haut de la tranchée, a été transporté sur des voies spéciales dans des waggonnets à quatre roues, l'attaque ayant lieu

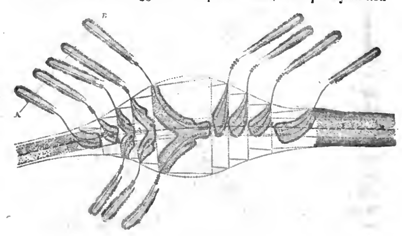


Fig. 22

sur quatorze points différents. La figure 22 représente la disposition du chantier.

Tranchée de Charmoille. — A la tranchée de Charmoille (chemin de Mulhouse), le terrain étant du côté de Mulhouse très-abrupt, ainsi que l'indique la figure 23, il n'eût pas été possible d'établir des voies de transport à deux étages différents. La voie de l'étage supérieur, en la supposant à une hauteur raisonnable au-

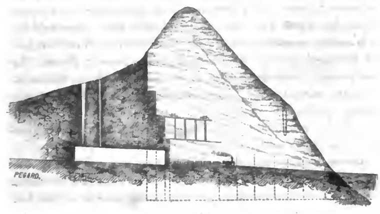


Fig. 23

dessus de l'étage inférieur, eût été forcément posée avec une inclinaison beaucoup trop forte.

Voulant toutefois opérer avec une certaine rapidité, on a percé, comme l'indique la figure, un puits et une galerie. La galerie a été poussée du côté de Mulhouse jusqu'au jour. Les déblais provenant de la partie supérieure de la tranchée, jetés dans le puits, tombaient dans un waggon placé au fond, ce puits faisant ainsi office de trémie ou d'entonnoir; les waggons marchaient vers le point de décharge en suivant la galerie.

Inclinaison des talus. — Les talus des tranchées se soutiennent sous des angles qui varient suivant la nature du terrain[1]. On en diminue l'inclinaison, soit en les recouvrant de perrés ou murs en pierres sèches, soit en les soutenant par des murs en maçonnerie. Les murs en maçonnerie ne sont guère employés qu'à la traversée des villes où le terrain est très-coûteux. Dans certains terrains ébou-

[1] Les angles pour les différentes natures de terrains sont indiqués dans l'ouvrage de M. Minard, intitulé : *Sur les ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux.*

leux, les talus ne se soutiennent sous aucun angle, et, si on ne prend certaines précautions. ils s'éboulent inopinément et recouvrent les voies. Cet accident est un des plus graves que présente la construction des chemins de fer. Il est à redouter surtout dans les terrains qui renferment des couches glaiseuses intercalées dans des couches perméables. Dans ces circonstances, l'eau qui traverse les terrains perméables forme une nappe au-dessus de la glaise imperméable, et la surface mouillée devient lisse et savonneuse. Si cette surface est fortement inclinée, les terres du talus d'amont glissent. Le mouvement, une fois commencé, s'étend à de très-grandes distances, et l'on est souvent obligé d'abandonner le tracé et de changer la direction du chemin; c'est ce qui est arrivé au chemin d'Orléans pour la tranchée d'Ablon, et au chemin de Strasbourg pour celles de Voussy et de Champigneulle.

Assèchement des tranchées. — On a cherché à prévenir les glissements en desséchant les couches glaiseuses, en donnant une faible inclinaison au talus d'amont et en soutenant le pied de ce talus. Les figures 24, 25 et 26 représentent les travaux exécutés sur divers chemins de fer pour parvenir à ce résultat.

Pierrée en amont. — La pierrée, ou canal rempli de pierres concassées (fig. 24), retient toutes les eaux venant d'amont qui pour-

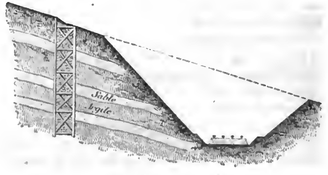


Fig. 24

raient attaquer le talus. Ces eaux s'écoulent par les extrémités de la pierrée. Nous examinerons plus loin jusqu'à quel point ce procédé est avantageux.

Mur en pierres sèches. — Le mur en pierres sèches M (fig. 25) soutient le talus, tout en laissant filtrer les eaux qui descendent vers le fossé. Il s'appuie sur la banquette *b*, et, de distance en distance, le pied du talus est consolidé par de petites voûtes V.

Le mur en pierres sèches M (fig. 26), renforcé par des contre-forts également en pierres sèches, soutient le pied du talus et laisse filtrer les eaux. — Toute la partie du talus qui se compose de glaise a une inclinaison très-faible de trois de base sur un de hauteur; il est, en outre, protégé par une couche de bonne terre gazonnée avec soin.

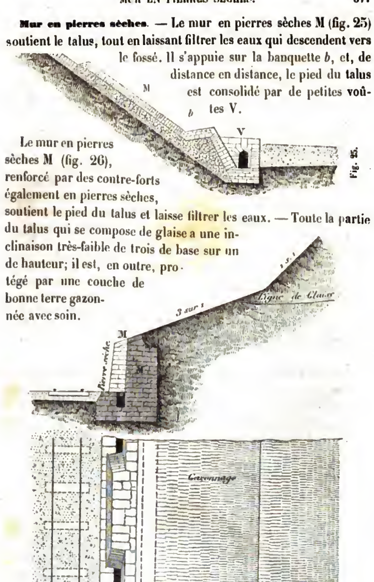


Fig. 26.

Ces différents moyens sont extrêmement coûteux, et leur emploi

ne préserve pas toujours des éboulements qui se manifestent souvent plusieurs années après l'ouverture du chemin.

Méthode Sazilly. — En examinant attentivement ces éboulements, et en remarquant que souvent ils avaient lieu sur le talus d'aval de la tranchée, M. de Sazilly, ingénieur des ponts et chaussées, fut conduit à les attribuer, dans le plus grand nombre de cas, à d'autres causes qu'à de simples glissements; en conséquence, il proposa et appliqua sur les chemins du Centre et de Strasbourg une nouvelle méthode de consolidation des talus. Nous allons indiquer en quelques mots les procédés que cet ingénieur a décrits avec beaucoup de détails dans un mémoire inséré dans les *Annales des ponts et chaussées*, année 1851.

Les couches de glaise mises à nu par l'ouverture de la tranchée sont soumises aux influences atmosphériques; elles changent incessamment de volume en se gonflant et se contractant suivant que l'atmosphère est humide ou sèche. Il en résulte, dans la masse, des gerçures plus ou moins profondes qui donnent accès aux eaux de pluie et d'infiltration; la couche glaiseuse se pénètre complétement et finit par se ramollir au point de perdre toute sa cohésion.

Cette altération du terrain est encore favorisée par les gelées, qui, en bouchant les issues des eaux d'infiltration, forcent ces eaux à pénétrer les glaises suivant leurs fissures et plans de clivage. La forme *s s* (fig. 27) qu'affectent les éboulements confirme en tous points les hypothèses de M. de Sazilly. — En effet, ce ne sont pas seulement les terrains supérieurs à la glaise qui se déplacent, mais aussi la glaise elle-même, ce qui n'aurait pas lieu s'il y avait un simple glissement. Partant des bases que nous venons d'indiquer, M. de Sazilly a recouvert les talus glaiseux des tranchées d'une che-



Fig. 27.

mise assez épaisse pour les soustraire aux influences atmosphériques; il a également détourné les nappes souterraines en leur assurant vers les fossés un écoulement prompt et constamment libre, quelle que soit la température extérieure.

A cet effet, soit $n\,n'$ (fig. 28) une nappe d'eau (banc de suintement) qui se fait jour dans le talus A B; on ouvre dans ce talus et dans le sens longitudinal de la tranchée une petite rigole *a b c d* qui pénètre jusque dans la masse glaiseuse. On donne au fond de cette rigole une pente d'environ $0^m,01$ par mètre, en suivant, autant que possible, les inflexions du banc de suintement, et l'on y établit un radier en briques et mortier hydraulique; puis on la remplit de cailloux bien lavés, et on la recouvre avec des gazons ou avec des pierres plates.

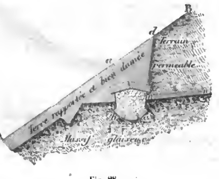


Fig. 28.

A chaque point bas de la rigole longitudinale, on donne écoulement aux eaux qui s'y accumulent au moyen d'une rigole transversale K *g* (figure 29), qui aboutit dans une cuvette rampante en maçonnerie établie sur le talus, ou au moyen d'une pierrée établie sur la pente même du talus et débouchant dans le fossé. S'il existe plusieurs bancs de suinte-

Fig. 29.

ment, on établit une pierrée pour chacun d'eux (figure 30).

Le fossé et le pied du talus sont revêtus en moellons; au-dessus, ce talus est taillé par redans, et recouvert d'une couche de terre bien damée et protégée par un semis. Le fond des redans doit être réglé avec pentes longitudinales, et leurs points bas, qui ordinairement correspondent à ceux des pierrées, sont mis en communication avec le fossé.

Fig. 30.

Au chemin de Mulhouse, M. Masson, ingénieur ordinaire, a remplacé, dans la tranchée de Beaulieu et de Chifflard, près de Rosoy et Faye-Billot, les briques formant le radier des rigoles ou caniveaux de M. Sazilly par des tuiles creuses (fig. 31 et 32); quelquefois par des tuyaux de drainage (fig. 33). Les tuiles creuses, suivan

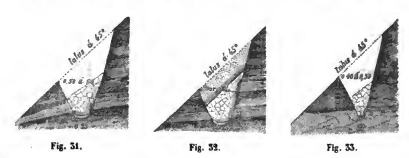


Fig. 31. Fig. 32. Fig. 33.

M. Masson, diminuent le nombre des joints ainsi que la consommation de mortier et sont plus faciles à placer.

Méthode des collecteurs. — Au chemin de Blesmes à Gray, dans un terrain marneux où l'eau se manifestait à peu près sur tous les points, M. Ledru, ingénieur principal, a desséché les talus et la chaussée à l'aide d'un ensemble de tubes de drainage dont la disposition est indiquée figure 34.

Les tuyaux T sont logés dans les fossés de 1 mètre à $1^m,20$ de

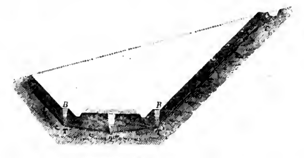


Fig. 31.

profondeur environ (fig. 33), pratiqués sur le talus et espacés de 3 mètres à 6 mètres, suivant la nature du terrain.

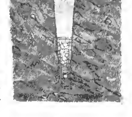


Fig. 33.

Ces tuyaux, que M. Ledru appelle *collecteurs de talus*, se dégorgent dans des collecteurs T', dits *collecteurs latéraux*, placés sous les petites banquettes B, dont la surface est au niveau du rail, et qui communiquent avec un collecteur central T'' au moyen de drains transversaux espacés de 10 mètres à 20 mètres.

Les drains de talus sont généralement posés sur ce talus en écharpe. Ce n'est que dans de très-mauvais terrains et dans ceux qui avaient subi des commencements de glissement qu'ils ont été placés suivant les lignes de plus grande pente.

Le terrain mouillé ne descendant pas jusqu'au pied du talus, les drains de talus n'ont été posés que sur la partie mouillée, et se sont dégorgés, soit à l'air libre, soit dans des drains longitudinaux établis sur le talus à $0^m,30$ au moins au-dessous du plan de séparation de deux terrains perméable et imperméable. Les drains longitudinaux versent leurs eaux dans les fossés de la chaussée.

Le terrain perméable enfin se trouvant dans la partie inférieure du talus, tandis que la partie supérieure est composée de couches imperméables, on le dessèche à l'aide de collecteurs de talus se

dégorgeant, comme dans le premier cas, dans des collecteurs latéraux qui versent les eaux dans un collecteur central.

On donne aux collecteurs la pente nécessaire à l'écoulement



Fig. 36.

des eaux. La figure 36 indique la coupe longitudinale d'un collecteur central définitif.

Méthode Lalanne. — Au même chemin de Blesmes à Gray, on a appliqué un nouveau système de drainage qui avait été indiqué par M. Lalanne, ingénieur en chef, directeur des travaux au chemin de fer de l'Ouest (Suisse).

Ce système de drainage consiste à percer les talus de trous faits avec une tarière, et à y enfoncer une file de drains de $0^{m},3$ à $0^{m},5$ enfilés sur une perche en bois, que l'on retire ensuite avec précaution en laissant la file de drains dans le trou. Pour que ce chapelet de drains ne se disloque pas, les manchons qui garnissent les joints sont reliés entre eux par un fil de fer fixé (fig. 37) aux drains et

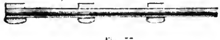


Fig. 37.

aux manchons extrêmes et simplement enroulé, sur les manchons intermédiaires.

Consolidation du Steinberg. — Nous croyons enfin utile de donner ici la description d'un travail assez intéressant exécuté sur le chemin de Metz à Forbach, pour maintenir la paroi d'amont d'une grande tranchée.

Ce chemin coupe entre Saint-Avold et Hombourg un mamelon

dit *Steinberg* (fig. 38), composé principalement de couches inclinées de sable et glaise reposant sur un banc de grès.

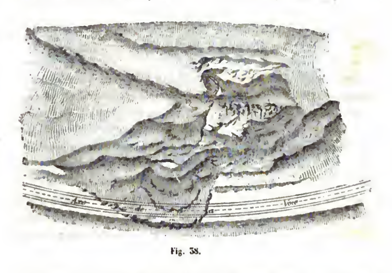


Fig. 38.

Le profil ci-contre (fig. 39) indique à peu près l'état de cette tranchée avant les derniers éboulements de novembre 1852.

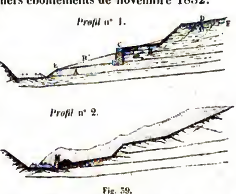


Fig. 39.

Jusqu'à l'époque où ces éboulements ont commencé, le banc A n'avait jamais cédé et avait toujours été considéré comme une base solide. Le revêtement en partie maçonné du fossé avait été exécuté non pour retenir ce banc, mais simplement pour le garantir de l'érosion. La partie B′ du banc B avait descendu pendant la construction en glissant sur le banc A, et la partie restante avait été arrêtée par le contre-fort C. Enfin, les couches C avaient été revêtues d'un perré encaissé dans les bancs B.

Tous ces travaux avaient été exécutés dans la supposition que le banc A, qui n'avait jamais bougé, resterait en repos.

Mais cependant ce banc a glissé; le radier s'est soulevé. Par suite, le contre-fort C s'est lézardé et a menacé de descendre à son tour. Des crevasses se sont faites également en D et ont poussé le perré G.

Sous l'action des pluies de novembre 1852, le mouvement a augmenté : 50,000 mètres cubes de terre ou de roche se sont déplacés en glissant sur une veine d'argile jusqu'au delà de l'axe du chemin. Dans les premiers jours de janvier 1853, la même masse a fait un nouveau mouvement et s'est avancée de manière à encombrer complétement la tranchée sur une longueur de 35 mètres.

On a alors, pour ne pas arrêter la circulation, établi une voie auxiliaire contournant le coteau ; interrompu, aussi bien que possible, le passage aux eaux de surface qui venaient délayer les terres de l'éboulement, en creusant des rigoles imperméables jusqu'à 200 mètres de la tranchée parallèlement à l'axe ; retiré une partie des terres de l'éboulement, décapé sur une grande profondeur les bancs supérieurs qui pesaient sur le banc A, et soutenu ce banc par un gros mur en pierres sèches M percé d'un aqueduc, et représenté dans le profil n° 2.

On a d'autant moins balancé à enlever la masse en mouvement, qu'on pouvait utiliser les terres qui la composaient pour consolider les remblais à l'est et à l'ouest du Steinberg.

On avait pensé que l'on pourrait faire ces déblais conformément à la ligne EF du profil n° 1; mais, en cours d'exécution, on enleva les terres conformément au n° 2, qui indique la situation actuelle.

Dans un petit nombre de cas, les travaux d'assainissement ou de soutènement des talus devenant par trop dispendieux et même quelquefois impossibles, il vaut mieux modifier la voie. C'est ce qui est arrivé pour la tranchée de Champigneulle, sur le chemin de Strasbourg, près Nancy.

Nous avons passé sommairement en revue les différents procédés pour l'assainissement des talus. Avant d'apprécier leurs avantages et leurs inconvénients respectifs, avant de faire connaître dans quels

cas chacun de ces procédés doit être plus particulièrement appliqué, nous entrerons dans de nouveaux détails sur le procédé Sazilly, et sur celui que M. de Regel a employé pour consolider les talus de la tranchée de Soultz.

M. Bruère, conducteur des ponts et chaussées très-expérimenté, longtemps associé aux travaux de M. Sazilly, et employé aujourd'hui par la Compagnie de l'Est, nous a fourni sur l'emploi du procédé de cet ingénieur de nombreux renseignements que nous avons reproduits en entier dans le *Portefeuille*. On en lira avec intérêt l'extrait que nous en donnons plus loin.

Quant au second procédé, il a été appliqué à plusieurs tranchées du chemin de Mulhouse par MM. Daigremont et Marsillon. Nous compléterons la description que nous en avons donnée par d'importants emprunts faits à un rapport de M. Daigremont sur les travaux qu'il a exécutés.

Ce qui suit est extrait du mémoire de M. Bruère :

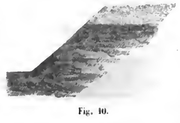
Détermination des bancs de suintement. — « Avant de commencer les travaux d'assainissement d'une tranchée, il est très-important de connaître d'avance tous les bancs de suintement.

« Les recherches auxquelles on doit se livrer pour cet objet sont bien moins difficiles qu'on le suppose généralement : il suffit pour cela de faire des remarques à l'ouverture des cunettes ; car c'est alors que les eaux intérieures de filtration sont les plus abondantes ; et, comme la quantité d'eau est alors trop grande pour que l'air l'absorbe tout entière à sa sortie, il est facile de noter tous les endroits où l'on voit l'eau apparaître. En agissant de cette manière, on sera certain de savoir plus tard, après le règlement des talus, où se trouvent les bancs de suintement lorsqu'il s'agira de recueillir les eaux intérieures de filtration. Il n'est pas nécessaire de suivre alors les suintements dans tout leur développement lorsqu'on fait des recherches ; quand on a reconnu un endroit où l'eau sort, on doit être à peu près certain que toute la couche de terrain de même nature et de même nuance, qui a la même disposition, est elle-même un banc de suintement.

« Quand on n'a pas pu étudier la position des bancs de suintement à l'ouverture des cunettes, ou généralement pendant le dé-

blai des tranchées, on doit observer les talus le matin au lever du soleil; l'air calme et froid de la nuit a absorbé peu d'eau et les bancs de suintement sont alors très-faciles à reconnaître. Dans les cas douteux, on fait bien de répandre du sable ou mieux de la cendre sur les talus; la nuance plus foncée que prennent ces deux matières au contact de l'humidité décèle toujours un banc de suintement.

« Ici se présente l'occasion de faire une remarque très-importante : il arrive quelquefois à ceux qui n'ont pas l'habitude de faire des recherches de suintement de se méprendre sur l'endroit exact où les eaux souterraines sortent à la surface des talus; ces eaux, avant d'en atteindre tout à fait la surface extérieure, peuvent descendre dans les fentes nombreuses que la sécheresse a produites dans la couche inférieure argileuse, de sorte que l'eau se montre beaucoup plus bas que le banc de suintement par où elle se dirige (fig. 40).


Fig. 40.

« Pour éviter aux autres cette cause d'erreur, je conseillerai ce que je fais toujours moi-même : il faut enlever sur la surface du talus où on soupçonne un suintement toutes les terres désagrégées par l'humidité et par la sécheresse. On sera certain de savoir ensuite exactement quelle est la couche de terrain qui donne passage à l'eau.

« Quand les eaux paraissent à la surface du talus en assez grande quantité, on reconnaît aisément quel est le terrain qui leur donne passage lorsqu'on observe ces talus pendant le jour quand le soleil donne le plus de chaleur. Il arrive alors que la surface du talus devient tout à fait sèche à l'exception des endroits où l'eau sort naturellement. Il est un fait assez curieux que j'ai eu très-souvent l'occasion de remarquer : des surfaces de talus argileux réglés depuis longtemps n'offraient à la température ordinaire aucun symptôme d'humidité. Or il arrivait que, par les grandes chaleurs, lorsque le soleil échauffait le plus fortement la terre, il se dessinait

des zones distinctes où se manifestait une humidité assez abondante. Ces traces d'humidité décèlent toujours des bancs de suintement.

« Les suintements sont encore très-faciles à reconnaître dans les petites tranchées de $0^m,80$ environ de largeur ouvertes perpendiculairement à l'axe pour le règlement des talus; l'air, y circulant difficilement, ne peut absorber que peu d'humidité par les eaux intérieures.

« J'ai parlé d'une espèce de bancs de suintement entre deux couches argileuses homogènes; ils ont généralement une faible épaisseur de 1 à 2 centimètres, et se reconnaissent à la main. Quand une fois on a trouvé un point de leur direction, on peut facilement glisser le doigt sur toute leur longueur entre les deux couches argileuses qui sont généralement très-compactes; on en retire une matière bourbeuse très-molle, qui a souvent beaucoup d'analogie avec les terrains des couches supérieures. Des suintements de cette espèce se voient aujourd'hui à la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse); j'en ai vu un assez grand nombre aux tranchées de Soultz et de Sourbourg (ligne de Wissembourg); mais les plus remarquables que j'aie vus jusqu'à ce jour existent à la tranchée du versant méridional de l'Indre, près de Tours (chemin de Tours à Bordeaux). Lorsque j'ai été chargé de la consolidation des talus de cette tranchée, ces suintements avaient déjà produit des éboulements considérables.

« A l'époque des dégels, les eaux provenant de la fonte des neiges et des pluies ne peuvent pénétrer sur la première couche de terrain imperméable que lorsque le sol est complétement dégelé, de sorte que ces eaux, trouvant naturellement une issue dans les tranchées, paraissent à la surface des talus souvent bien au-dessus du premier banc de suintement ordinaire; elles se montrent le plus abondamment de $0^m,40$ à $0^m,50$ au-dessous de la partie supérieure du sol (fig. 41).

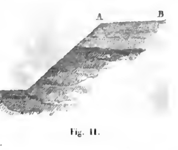


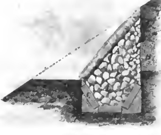
Fig. 41.

« Quand une tranchée est ouverte dans l'emplacement d'une forêt, les racines des arbres abattus de chaque côté de la tranchée produisent à leurs extrémités une grande quantité d'eau qui, sans elles, se serait écoulée à la surface du sol. Cette remarque est d'autant plus importante, que la quantité d'eau qu'elles introduisent dans les terres est très-considérable à l'époque des dégels et des fortes pluies. C'est à la présence de ces racines qu'il faudra attribuer l'abondance des eaux dans la partie supérieure des talus de la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse). La plus grande partie des éboulements qui se sont produits à la tranchée de Strohübel (ligne de Wissembourg) n'a pas eu d'autre cause que la présence des racines.

« La conservation des talus sera assurée quand on aura pris les dispositions nécessaires pour les préserver des eaux intérieures et des influences atmosphériques.

Caniveaux d'assainissement. — « Pour prévenir les effets des eaux intérieures, il suffit de les recueillir de manière qu'elles ne soient jamais soumises à l'action des gelées, et qu'elles ne s'écoulent que le moins possible à la surface des terres argileuses.

« Les caniveaux d'assainissement remplissent complétement ce but ; le principe sur lequel on s'appuie pour leur construction est excessivement simple : les caniveaux consistent dans une certaine quantité de matières perméables appliquées contre les couches perméables naturelles qui donnent passage aux eaux de filtration, et en une rigole en maçonnerie de briques établie au-dessous pour recueillir les eaux et les diriger dans les contre-fossés du chemin de fer (fig. 42).


Fig. 42.

« Afin de préserver la surface des talus des effets de la sécheresse et des pluies, et particulièrement des gelées, il faut les recouvrir d'une couche de terres pilonées de manière qu'elles ne soient soumises qu'au moindre tassement possible ; les terres servant aux recouvrements doivent être choisies parmi celles qui ne sont point sujettes

à devenir fluentes au contact de l'eau ; elles doivent être pilonées partout avec le même soin et avec la même force, de sorte que ces recouvrements deviennent aussi compactes que possible au point de devenir imperméables eux-mêmes.

« Les eaux de pluie, en descendant sur des talus d'une hauteur un peu considérable, ravineraient ces talus vers leur base et seraient la cause de dégradations plus ou moins importantes si on ne prenait pas la précaution de diminuer le volume et la vitesse des eaux pluviales. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'établir de distance en distance des banquettes étagées destinées à recevoir les eaux qui descendent à la surface des talus.

« Pour le prompt écoulement des eaux de pluie sur les banquettes, il devient indispensable de les disposer de manière qu'elles aient une pente transversale qui soit autant que possible opposée à celle des talus, et une pente longitudinale suffisante pour que les eaux soient concentrées dans un assez petit espace et qu'elles puissent s'écouler promptement vers les points les plus bas donnés par les pentes longitudinales.

« A la jonction inférieure de deux pentes opposées, on est alors obligé de construire des cuvettes en maçonnerie par lesquelles les eaux reçues par les banquettes s'écoulent directement dans les contre-fossés du chemin de fer.

« Pour que les eaux qui s'écoulent dans les fossés des tranchées argileuses ou sablonneuses ne dégradent pas la base du talus, il est nécessaire de perreyer ces fossés. Dans les tranchées argileuses, il suffit de perreyer le fond du fossé et le talus opposé à la voie ; l'autre talus peut être simplement gazonné à plat.

« Malgré tout le soin avec lequel on aura fait choix des terres destinées aux revêtements du talus, et quoique ces revêtements soient très-bien pilonés, on ne parviendra jamais à le rendre complétement imperméable ; les eaux qu'il contiendra aux dégels, celles provenant des fortes pluies, pénétreront donc les recouvrements sur toute leur épaisseur, en faible quantité il est vrai, mais assez cependant pour que celles qui parviendront au pied des talus ramollissent les terres rapportées et fassent perdre aux revêtements toute leur solidité. C'est pour cette raison que, depuis quelques an-

nées, j'ai l'habitude d'établir au pied des talus un caniveau destiné à recueillir les eaux qui s'écoulent entre le terrain naturel et les terres du revêtement (fig. 43).



Fig. 43.

Assèchement d'un terrain sablonneux. — « Les dispositions décrites ci-dessus doivent être modifiées quand il s'agit d'assainir un terrain sablonneux où il y a beaucoup d'eau, par conséquent où le sable est très-mouvant, ou quand la hauteur du suintement est très-considérable; c'est ce qu'on appelle un suintement général.

« On doit ici, comme je l'ai déjà dit, établir le caniveau sur un terrain solide. Comme le gravier que l'on poserait sur le sable ne tarderait pas à devenir inutile par son introduction dans une masse trop mouvante, il est nécessaire de l'envelopper dans des branches fines et serrées alentour. Les fascines (fig. 44), liées très-solidement, sont ensuite placées sur le talus, comme je le dirai tout à l'heure.



Fig. 44.

« Les branches de genêt et de bouleau sont d'un bon usage pour la fabrication des fascines de gravier (fig. 45).

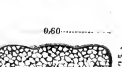


Fig. 45.

« L'établissement d'un filtre en fascines est sans contredit le travail le plus délicat et le plus difficile qui se puisse rencontrer dans l'assainissement du talus.

« Aussitôt après le règlement des talus, après avoir préparé tous les matériaux nécessaires, on place les fascines en commençant par le haut, de manière qu'on ne soit jamais incommodé par le sable, qui est toujours entraîné par les eaux.

« On commence donc par pratiquer un redan A, et l'on pose immédiatement, comme il est indiqué au croquis figure 46, la fascine A'. Ensuite un ouvrier ouvre un deuxième redan, B où la fas-

cine B' est aussitôt placée. Le travail étant continué ainsi jusqu'au bas du suintement, les fascines sont ensuite recouvertes de 0^m,10 de gravier, et le talus représente en profil la forme indiquée à la figure 46.

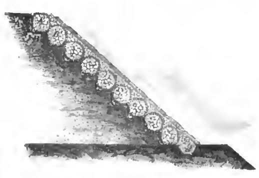


Fig. 46.

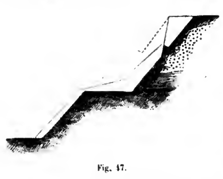
« Il ne reste plus qu'à faire sur le tout un gazonnement à plat de 0^m,10 d'épaisseur; et, pourvu que les fascines soient bien serrées les unes contre les autres, qu'elles soient placées à joints recouverts, il n'est plus à craindre qu'il survienne des éboulements. On sera peut-être obligé de temps en temps de nettoyer le caniveau obstrué par le sable qui sera entraîné par les eaux pendant les premiers jours; mais ce sera un travail facile si on a pris la précaution de ne remplir le caniveau avec le caillou et de ne recouvrir le talus que plusieurs jours après l'établissement du filtre en fascines.

« Un recouvrement en terre végétale, fait comme il sera dit plus tard, serait très-convenable, mais le plus souvent un simple répandage de 0^m,15 de terre végétale est bien suffisant.

« Il arrive quelquefois que des suintements de cette nature ont une étendue moins considérable, et qu'il n'en faut cependant pas moins de précautions pour les consolider.

« A la tranchée de Sourbourg (ligne de Wissembourg), la partie supérieure de la première couche argileuse présentait dans quelques endroits une dépression considérable. Une grande quantité d'eau suintait du talus après avoir traversé un banc de sable pur de 0^m,80 de hauteur environ. Malgré toute la promptitude avec laquelle on avait réglé le talus pour le consolider immédiatement, on n'a cependant pas pu empêcher la production de petits éboulements. L'eau entraînait le sable avec une telle abondance, qu'il a

été nécessaire de faire usage de fascines pour l'assainissement du talus. La figure 47 peut donner une idée assez exacte du travail qui vient d'être expliqué.


Fig. 47.

Revêtement des talus. — « Les revêtements de talus peuvent être faits en maçonnerie de pierres sèches, en gazon ou en terre végétale : les derniers sont bien préférables aux autres. Ils sont plus économiques, et, quand ils sont bien faits, ils garantissent mieux les talus contre les effets de la pluie et du dégel.

Banquettes. — « Les banquettes doivent être étagées et de 3 à 4 mètres de distance verticale les unes des autres, suivant que l'inclinaison des talus est plus ou moins considérable.

« Pour que les banquettes ne puissent pas se dégrader par le passage des eaux, on doit autant que possible les recouvrir de gazon.

Cuvettes. — « Les cuvettes se font en gazon par assises, ou en maçonnerie.

« Les cuvettes en maçonnerie sont bien préférables aux cuvettes en gazon, elles coûtent beaucoup plus cher, mais elles sont beaucoup plus solides et n'exigent pas d'entretien.

« Elles doivent être maçonnées avec du mortier de chaux hydraulique et jointoyées avec du ciment de tuileaux. »

Dans certaines tranchées du chemin de Mulhouse, les cuvettes en maçonnerie ont été remplacées par des cuvettes en tuiles maçonnées qui sont moins coûteuses.

Au chemin de Strasbourg à Wissembourg, qui fait partie du réseau de l'Est, M. de Regel, ingénieur en chef, a appliqué avec un grand succès la méthode Sazilly au desséchement des talus de plusieurs tranchées; mais il a été conduit, dans la plupart des cas où les eaux entraînaient la couche de sable et produisaient de grands

éboulements avant qu'on ait pu établir les pierrées, à modifier le procédé en ce sens qu'il soutenait provisoirement le terrain au moyen de fascines remplies de gravier, qui servaient à le maintenir tout en donnant écoulement aux eaux.

Assèchement de la tranchée de Soultz. — En un certain point de ce chemin, à la tranchée de Soultz, une masse considérable de terrain reposant sur un banc incliné de glaise était entraînée par un grand courant souterrain dans la tranchée. La méthode Sazilly ne paraissait plus applicable, et l'on a employé, malgré la dépense, un procédé analogue à celui indiqué figure 24. Une petite tranchée auxiliaire fut ouverte parallèlement à l'axe du chemin (fig. 48), à

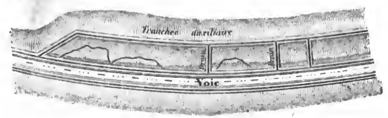


Fig. 48.

37 mètres de distance de celui-ci, et à 5 mètres au delà des fissures qui s'étaient manifestées dans le terrain. Cette tranchée fut poussée jusqu'à la couche imperméable, après avoir traversé plusieurs alternances de terres ordinaires et de glaises qui présentaient des bancs de suintement superposés. La coupe en long (fig. 49) représente la

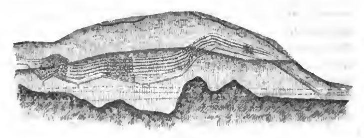


Fig. 49.

projection verticale de cette tranchée. Comme il s'agissait de donner

aux eaux un écoulement facile et constant, on suivit, pour le profil en long du fond de la tranchée, les ondulations générales de la couche de glaise, et l'on établit, à chacun des points bas les plus prononcés, un caniveau transversal ou drain qui devait amener dans le fossé du chemin de fer les eaux recueillies par la tranchée latérale.

Le fond de cette tranchée, dont la section (fig. 50) représente celle d'un prisme triangulaire, fut d'abord garni d'une couche de



Fig. 50.

béton de $0^m,15$ d'épaisseur, sur lequel on plaça trois briques à plat formant caniveau, puis on remplit le vide avec des moellons bruts et de petites pierres jusqu'à 1 mètre de hauteur ; au-dessus de ce prisme, on éleva une sorte de mur en pierres sèches, tout le long des bancs de suintement que l'on avait traversés, en garnissant le tout d'une couche de mousse pour empêcher la terre de s'introduire dans le perré. Ce perré une fois terminé, on combla le vide de la tranchée en ayant soin de piloner fortement les terres que l'on avait extraites.

La tranchée auxiliaire de desséchement, au chemin de Wissembourg, n'a que 10 mètres de profondeur. S'il eût fallu ouvrir une tranchée plus profonde, le percement dans un terrain coulant eût devenu excessivement coûteux. Sur certains chemins d'Allemagne et sur le chemin de fer de Lyon, on a ouvert en pareil cas des puits jusqu'au banc glaiseux, et relié ces puits par une galerie dans laquelle les eaux se réunissent et d'où elles s'écoulent par des galeries transversales.

En général, dans des circonstances de ce genre, il est bon de diminuer la profondeur de la tranchée en relevant le profil du chemin; on évite ainsi d'attaquer plus profondément la couche de glaise et de déchausser le pied de la couche dont on avait à redouter les mouvements. C'est ce qu'on a fait au chemin de Wissembourg et en plusieurs points du chemin de Strasbourg.

M. Daigremont, ingénieur des ponts et chaussées, et M. Marsillon, ingénieur civil, ont employé, pour l'assainissement des talus de plusieurs tranchées du chemin de Mulhouse, des moyens qui se rapprochent beaucoup de ceux dont M. de Regel a fait usage à Soultz.

Nous empruntons le passage suivant à un rapport fort intéressant fait sur ces moyens à la Compagnie de l'Est, par M. Daigremont :

Description du système de consolidation adopté.— « Nous nous sommes arrêté, dit cet ingénieur, à un système déjà employé en Allemagne, et qui consiste à ouvrir une saignée étroite parallèle à la tranchée, et seulement du côté où les éboulements sont à craindre, et à recueillir les eaux de suintement au fond de cette saignée : nous allons indiquer comment on a réussi à rendre ce travail économique.

« Nous ferons d'abord remarquer que, si le terrain perméable s'arrête à la ligne C D, (fig. 51) on se contente de faire descendre la saignée un peu plus bas que cette ligne, et l'on peut alors considérer le prisme de terre

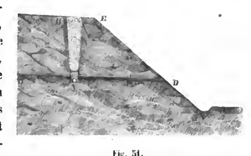


Fig. 51.

asséchée A B D E comme formant un mur de soutènement assis sur une base solide C D; si la tranchée se compose de terrains perméables dans toute sa hauteur, il faut descendre un peu plus le fond de la saignée : nous verrons tout à l'heure comment nous avons été conduit à placer dans tous les cas des drains sous la plate-forme du

chemin de fer, comme le représente le croquis ci-contre, de sorte qu'en supposant la tranchée composée dans toute sa hauteur d'une argile perméable (il y a de ces argiles qui s'éboulent très-facile-

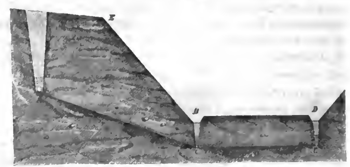


Fig. 52.

ment), le point A doit être descendu assez bas pour que le massif asséché A B C D E, reposant sur le plan incliné A C, et s'appuyant contre la partie solide C D C′ D′ puisse résister à la poussée des terres situées à gauche de A B (fig. 52).

Creusement des tranchées de drainage. — « Il peut se présenter deux cas dans le creusement des saignées parallèles aux tranchées : ou bien l'on y rencontre peu ou point d'eau, ou bien l'on y trouve des suintements abondants.

« Le premier cas se présente assez fréquemment et ne prouve pas que le travail soit inutile ; car on opère généralement pendant la saison sèche, et les terrains perméables peuvent alors être tout à fait exempts de l'eau qui les sature en hiver. Nous avons réussi dans cette circonstance à supprimer entièrement les blindages en remplaçant les saignées continues par une série de fosses oblongues A, A′, A″, séparées par des massifs B, B′, etc., d'environ $1^{m},50$ d'épaisseur : on perce ensuite ces massifs par-dessous sur une longueur de $0^{m},75$ de chaque côté, opération que tout ouvrier terrassier peut faire aisément (fig. 53).

A B A′ B′ A″ B″

Fig. 53.

« Dans le deuxième cas, c'est-à-dire si l'on rencontre dans la

saignée une quantité d'eau notable, le procédé de blindage naturel cesse d'être applicable ; il faut alors attaquer le travail par l'aval, en le blindant avec plus ou moins de soin, suivant la nature du sol ; mais, dans cette hypothèse, et en admettant que la saignée ait quelque profondeur, on se dispense de retirer toutes les terres de la fouille, et, en disposant l'atelier convenablement[1], on économise 60 pour 100 sur la dépense. Ajoutons qu'en tous cas la saignée a juste la largeur nécessaire pour permettre aux ouvriers de travailler; il ne faut pas dépasser 0m,50 dans le fond.

Pose des tuyaux de drainage. — « A mesure qu'une portion de tranchée auxiliaire se trouve à profondeur, on y pose des tuyaux de drainage, qui doivent présenter une pente bien uniforme; nous n'avons admis aucune inclinaison inférieure à 0m,005 par mètre, bien qu'on descende souvent à 0m,003 dans le drainage agricole; mais nous avons pensé qu'en raison de l'importance du travail il valait mieux nous tenir au-dessous de la pente-limite adoptée par les draineurs, afin d'être bien assuré d'éviter tout engorgement dans les tuyaux. Par le même motif, nous n'avons employé pour les drains longitudinaux que des tuyaux d'au moins 0m,065 de diamètre, quand même ces tuyaux n'avaient à débiter que quelques litres d'eau par jour[2].

« Le drain longitudinal est toujours entouré de matière filtrante ; quand les eaux sont peu abondantes, ces matières filtrantes sont simplement de la terre végétale ou du gazon, qu'on étend au fond de la fouille sur une épaisseur de 0m,30 environ ; on emploie aussi le sable ou la terre sableuse, quand on en a sous la main. Mais, dans les cas les plus difficiles, on a recours au gravier, ou bien à la pierre et à la brique cassée ; on n'en met jamais qu'une couche assez épaisse pour être sûr que le tuyau ne sera pas envasé.

« On a également soin de mettre de la mousse, des roseaux ou du gazon à chaque joint de tuyaux, afin d'empêcher l'introduction de l'eau trouble dans le drain.

[1] Voir pour l'organisation du chantier les documents du *Portefeuille*.

[2] Tous les tuyaux (à l'exception de quelques tuyaux d'un grand diamètre, faisant office de conduite) ont été posés sans manchons ; l'emploi des manchons paraît dangereux quand on pilone fortement les terres

« On pratique ensuite dans la paroi de la tranchée de drainage opposée au chemin de fer une série de rainures verticales, dans lesquelles on place des tuyaux de drainage ; ceux-ci sont garnis de roseau à leur joint ; on les arrête à quelque distance (0^m,50 à 1 mètre) du sol, et l'on bouche le dernier tuyau avec un tampon de roseaux ; à la partie inférieure, ces drains communiquent avec le drain longitudinal ; on les espace de 2 en 2 mètres, et on leur donne un faible diamètre ; nous avons adopté celui de 0^m,037.

Comblement de la tranchée de drainage. — « Cette opération terminée, on remplit la fouille avec les terres qui en ont été primitivement extraites, en les pilonant avec le plus grand soin ; on arrive ainsi à couper toutes les veinules perméables existant dans le terrain naturel, et à former une sorte de batardeau qui arrête les eaux de filtration et les fait descendre dans les tuyaux de drainage.

« Si l'on néglige de piloner fortement les terres, elles se tassent bientôt, se gercent, et, à la première pluie qui survient, les eaux remplissent la saignée, se troublent en traversant ce sol fraîchement remué, bouchent les tuyaux de drainage, et donnent lieu à des éboulements beaucoup plus considérables que si l'on avait laissé les choses à l'état naturel ; c'est ce qui nous est arrivé par la faute d'un chef d'atelier dans une tranchée.

« Pour se mettre complétement à l'abri de pareils accidents, il est bon de faire visiter, après chaque pluie, les tranchées de drainage déjà remblayées, et de faire recharger en terre pilonée toutes les parties qui se sont fendues et ont éprouvé des tassements.

Des fossés supérieurs. — « On sait que les fossés supérieurs placés sur la crête des tranchées pour arrêter les eaux pluviales et empêcher le ravinement des talus constituent pour les tranchées un danger permanent, et donnent lieu à des éboulements considérables, en raison de la stagnation des eaux, quand on n'a pas le soin de leur donner une grande pente, chose souvent difficile, et de les entretenir en très-bon état. Rien de pareil n'est à craindre avec le système d'assainissement que nous venons de décrire, pourvu que l'on place les fossés supérieurs un peu au delà

des drains verticaux AB; il est bien évident, en effet, que ces drains empêchent toujours la production d'un banc de glissement tel que C D E, puisque les eaux de filtration, parvenues au point D, iront joindre le drain longitudinal A (fig. 54).

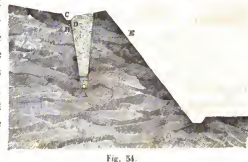
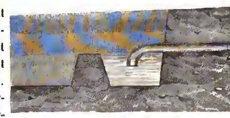


Fig. 54.

Précautions à prendre contre l'engorgement des tuyaux. — « Les rats, les souris et d'autres animaux s'introduisent fréquemment dans les tuyaux de drainage et les obstruent; en outre, les eaux qui s'y rassemblent sont souvent incrustantes, et laissent déposer du carbonate de chaux, du peroxyde de fer, dès qu'elles arrivent au contact de l'air; enfin, à la faveur de l'air et de la lumière, certains végétaux se développent quelquefois dans les drains; on évite ces graves inconvénients en recourbant les tuyaux à leur extrémité, et en les faisant plonger dans un petit réservoir d'eau (fig. 55).


Fig. 55.

« Si quelques portions de tuyaux s'engorgent pendant l'exécution des travaux, on les nettoie facilement au moyen d'une pompe foulante.

Établissement de drains transversaux. — « Dans les tranchées d'une grande longueur, le système de drainage précédemment décrit présente quelque danger ; en effet, les eaux de filtration, suivant le drain longitudinal, se partagent en deux directions opposées au point culminant de la tranchée, et ne s'écoulent que par les deux extrémités du tuyau, et, si l'écoulement cessait par hasard à l'une de ces extrémités, on reconnaîtrait bien que le drain est

obstrué, mais on ne pourrait pas savoir en quel point, et l'on serait exposé à recommencer entièrement un travail coûteux. Il faut donc nécessairement établir de distance en distance des drains transversaux A C, ayant pour objet de mettre en communication le tuyau longitudinal A avec la tranchée du chemin de fer (fig. 56).

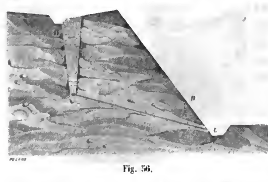


Fig. 56.

Drainage de la plate-forme. — « Mais il se présente alors un autre inconvénient : les eaux de filtration, très-abondantes dans quelques tranchées, et coulant, été comme hiver, dans les fossés, ramollissent peu à peu la plate-forme, rendent la voie mauvaise, et provoquent au pied des talus des éboulements fréquents, tels que CD : ces éboulements comblent le fossé, arrêtent les eaux, et le mal se propage avec rapidité; on se trouve dès lors conduit à perreyer le pied des fossés, solution coûteuse et insuffisante.

« En admettant même qu'il n'y ait pas d'eaux de filtration reçues dans les fossés d'une tranchée, il arrive souvent, si cette tranchée a peu de pente, que les eaux pluviales y séjournent et produisent les effets ci-dessus décrits : en outre, l'inclinaison transversale de la plate-forme étant et ne pouvant être que très-faible, le dessous des traverses reste toujours humide, et, comme ces traverses fléchissent au passage de chaque train, elles pétrissent peu à peu la glaise de la plate-forme, et la voie finit par être détestable.

« Ces différentes considérations nous ont engagé à drainer la plate-forme de toutes les tranchées glaiseuses, opération qu'on a déjà pratiquée en Allemagne avec le plus grand succès; nous avons placé un drain sous chaque fossé du chemin de fer; cette disposition nous a paru plus efficace que celle qui consiste à poser un seul drain dans l'axe de la voie. On nous a, il est vrai, objecté qu'en

faisant ainsi une coupure au pied du talus nous risquions de provoquer des éboulements; mais, jusqu'à présent, cela ne nous est point arrivé, et, en ayant soin de bien piloner les remblais au-dessus des tuyaux, ils deviennent en quelques jonrs, et comme tout le reste de la plate-forme, aussi durs que l'aire d'une grange.

« Les tuyaux de la plate-forme se posent comme les autres, avec plus ou moins de matières filtrantes suivant les cas : ils reçoivent, au moyen de drains transversaux dont il a été question plus haut, les eaux de filtration venant des drains supérieurs ; enfin, tous les 100 mètres, on placera un petit regard maçonné au-dessus des drains de la plate-forme (fig. 57), afin de recueillir les dépôts qui pourraient se former, et de s'assurer si tout le système fonctionne bien. Ajoutons que ces regards ne devront guère être visités que pendant un certain nombre de mois après l'achèvement des travaux ; car un drain bien établi ne s'engorge jamais, et, quand on aura réparé les malfaçons qui auraient pu se produire, la surveillance deviendra presque entièrement inutile.

« Nous avons fixé à $1^{m},20$ la profondeur moyenne des drains en contre-bas de la plate-forme, et nous n'avons fait en cela qu'imiter ce que l'on a exécuté sur les chemins allemands, et ce que l'on a adopté en Angleterre pour le drainage agricole.

fond du fossé

Fig. 57.

« Il est du reste reconnu en France, par tous les auteurs qui ont écrit sur le drainage, que, dans les terres fortes, on ne doit pas poser les tuyaux à moins de $1^{m},20$; or il est bien évident qu'une plate-forme de chemin de fer doit être asséchée au moins aussi bien qu'un champ, qui doit toujours conserver une certaine humidité favorable à la végétation; aussi pensons-nous avoir fait le strict nécessaire en adoptant la profondeur de $1^{m},20$. Ajoutons que les drains de la plate-forme sont distants d'environ 10 mètres, ce qui

correspond à peu près à l'espacement adopté en agriculture.

Cas où il existe une couche aquifère sous la plate-forme. — « Nous avons parlé au commencement de cette note d'un cas qui se présente fréquemment, celui où il existe une nappe d'eau qui n'est pas coupée par la tranchée, et qui est douée d'une pression assez forte pour soulever la plate-forme si elle est imperméable, et pour la transformer en bouillie si elle est perméable. Il faut toujours faire quelques sondages pour examiner si l'on n'a pas cette difficulté à combattre, et, si l'on reconnaît l'existence d'une couche aquifère, il faut tâcher de savoir ce qu'elle peut débiter de litres d'eau par minute. Ce point difficile une fois fixé, on assainit la plate-forme en descendant le drain A (fig. 58) au milieu de la couche aquifère; il est bon en ce cas de ne pas économiser les blindages et les matières filtrantes. Il faut toujours mettre le drain A du côté du drain supé-

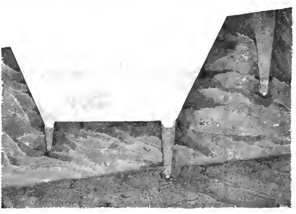


Fig. 58.

rieur, c'est-à-dire du côté où le sol est le plus élevé : tout le succès de l'opération dépend d'ailleurs du diamètre du tuyau A ; si ce diamètre se trouvait insuffisant, la sous-pression de la couche aquifère ne serait pas détruite, et le travail serait à recommencer.

Inclinaison des talus des tranchées. — « En terminant ces généralités relatives aux assainissements, nous dirons que, dans notre opinion, on peut toujours ou presque toujours donner aux talus de déblai l'inclinaison de 45°, si on les assainit par les moyens que

nous avons développés ; si nous avons donné à un certain nombre de talus de tranchées l'inclinaison de $1^{m},50$ de base sur 1 mètre de hauteur, c'est que nous avions besoin de terre pour les remblais ; mais, lorsque cette circonstance ne s'est pas présentée, nous avons adopté l'inclinaison de 45°. Pour un déblai de 6 mètres de profondeur, en augmentant ainsi la roideur de la pente de $0^{m},50$ par mètre, on économise 18 mètres cubes, c'est-à-dire 27 francs par mètre courant de tranchée, en appliquant le prix payé à MM. Parent et Schaken : c'est plus que ne coûtent l'assainissement et le revêtement des talus, même dans des cas difficiles. »

L'assainissement de la plate-forme, si important, comme l'indique M. Daigremont, a présenté au chemin de Wissembourg de grandes difficultés qui ont été heureusement surmontées par M. Goschler. Nous reviendrons plus loin sur le travail exécuté par cet ingénieur.

Mais, auparavant, nous comparerons les différents procédés employés pour l'assainissement des talus.

Comparaison des différents procédés. — M. Chaperon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur du chemin de Lyon, ne partage pas l'opinion de M. Sazilly sur les causes des éboulements. Voici dans quels termes il s'exprimait dans les *Annales des ponts et chaussées*[1] :

« Si l'on examine attentivement la forme du terrain dans les coteaux argileux, on reconnaît que le relief actuel du sol ne s'est établi qu'à la suite d'une série séculaire de mouvements dans les couches supérieures, et que la masse tout entière ne présente même qu'un équilibre instable, fréquemment troublé à la suite des dégels et des longues pluies. Cet équilibre momentané ne se maintient qu'à la condition que les parties supérieures trouvent leur appui sur les parties inférieures du terrain, en sorte qu'il est détruit par la moindre modification apportée dans le relief du sol.

« Si, dans un semblable terrain, on vient à ouvrir une tranchée, quelque peu profonde qu'elle soit, les conditions d'équilibre se trouveront brusquement rompues, et des mouvements auront lieu,

[1] Année 1853, 2e cahier

sinon au moment même de l'opération, du moins à une époque ultérieure plus ou moins éloignée, lorsque les pluies ou le dégel auront pu ramollir la glaise et en diminuer la cohésion. L'eau qui tombe à la superficie du sol trouve toujours en effet des fissures ou des couches perméables par lesquelles elle s'introduit au sein même des masses argileuses, dont la solidité se trouve ainsi considérablement diminuée à certaines époques.

« La rupture d'équilibre des masses glaiseuses, telle est, à notre avis, la cause prépondérante des grands éboulements et des glissements à grande distance qui sont si fréquemment la suite de l'ouverture des tranchées dans les coteaux en pente douce des terrains argileux. Pour arrêter de pareils mouvements ou pour les prévenir, nous ne croyons pas qu'il y ait d'autre moyen d'étayer le massif dont on affaiblit le pied en y creusant une tranchée que de suppléer par un contre-fort artificiel à la poussée naturelle des terres que l'on a enlevées. Aussi d'habiles ingénieurs n'ont-ils pas hésité à construire au pied des talus de déblai ouverts dans les terrains glaiseux des murs de soutènement à pierres sèches fort épais, qui, tout en assainissant le terrain supérieur, pussent rétablir par leur masse l'équilibre dont les conditions avaient été profondément modifiées par l'ouverture de la tranchée. Ces murs de soutènement n'ont du reste pas besoin de s'élever au niveau du sol naturel; il suffit que leur hauteur permette d'adoucir convenablement les talus, eu égard à la nature des terrains dans lesquels la tranchée est ouverte. »

Nous ne sommes pas entièrement de l'avis de M. Chaperon; nous pensons bien comme lui que la rupture d'équilibre des masses produite par l'ouverture des grandes tranchées tend à produire les éboulements; mais nous reconnaissons aussi la grande influence des causes signalées par M. Sazilly. Les faits prouvent assez cette influence. Le procédé Sazilly, appliqué dans un grand nombre de tranchées au chemin de Paris à Strasbourg, au chemin de Wissembourg et au chemin de Mulhouse, a presque toujours donné d'excellents résultats. Celui que préconise M. Chaperon, au contraire, appliqué dans la grande tranchée de Gagny, concurremment avec le procédé Sazilly, a été l'occasion de dépenses considérables[1], et cha-

[1] A la tranchée de Gagny, les murs de soutènement avec contre-forts en pierre sèche

que jour il faut réparer à grands frais les murs de soutènement, qui ne résistent qu'imparfaitement à la pression des terres, malgré leurs dimensions considérables.

Il est vrai que les murs en pierre sèche tels qu'ils ont été construits à la tranchée de Gagny soutiennent le pied des talus sans en préserver la surface des influences atmosphériques. Il vaut mieux recouvrir le talus comme on l'a fait à la tranchée de Sèvres, ainsi que l'indique la figure 30, page 379.

On a dit que le procédé Sazilly était inapplicable dans un grand nombre de cas. On a prétendu que, lorsque l'eau affluait à grandes masses et sur toute la hauteur des talus, l'autre procédé était seul praticable. Si le procédé Sazilly n'a pas réussi dans certains cas, cela tient sans doute au peu d'expérience de ceux qui l'ont essayé. M. Bruère l'a appliqué sur trente ou quarante tranchées, soit sur le réseau de l'Est, soit sur d'autres lignes, le plus souvent avec succès.

M. de Regel a déclaré qu'il regrettait d'avoir employé dans la tranchée de Soultz le procédé que nous avons décrit, et qui n'a pas été complétement efficace. Il nous a dit que, dans un terrain à peu près semblable, il avait appliqué à beaucoup moins de frais le procédé Sazilly.

Le mode d'assainissement des tranchées de Soultz, Petit-Croix, etc., ne peut que s'opposer à l'action des eaux intérieures, mais il ne remédie pas à l'effet des gelées, de la pluie et de la sécheresse sur les talus.

S'oppose-t-il même complétement à l'action des eaux intérieures? C'est ce qui peut paraître douteux, surtout après les accidents survenus aux talus de la tranchée de Soultz, accidents dont nous parlerons plus loin.

Si l'on adopte la grande tranchée d'assainissement en amont, les terres pilonées sont souvent traversées par les masses d'eau, et le massif n'est qu'imparfaitement asséché.

Quant à ce qui est de la dépense, elle peut être modérée quand le fossé d'assainissement en amont n'est pas d'une grande profon-

sont revenus à 240 fr. le mètre courant, tandis que les talus, assainis par la méthode de M. Sazilly, n'ont coûté que 100 fr.

deur, comme à la tranchée de Petit-Croix; mais elle augmente rapidement avec la profondeur.

Sans donc prétendre que le procédé Sazilly est applicable dans tous les cas, nous pensons qu'il peut être souvent pratiqué avec succès. Le procédé de la tranchée de Petit-Croix est préférable peut-être quand la masse d'eau est considérable, et que la totalité du terrain en est pénétrée.

Le meilleur mode d'emploi des murs en pierre sèche consiste à construire le mur sur le talus en soutenant le pied par des voûtes qui bordent le fossé.

Quant au procédé d'assainissement par voie de collecteurs appliqué par M. Ledru, il est fondé sur le même principe que le procédé Sazilly. Il n'en diffère essentiellement que par la réunion des eaux de toute la tranchée dans un seul collecteur et par la substitution des tuyaux de drainage aux pierrées.

La recommandation que fait M. de Sazilly d'établir les pierrées suivant la direction des couches aquifères ne peut s'appliquer que sur les points où le talus présente réellement des alternances un peu apparentes de couches diversement perméables. Mais dans les puissantes formations marneuses, telles que celles que l'on trouve sur le chemin de Blesmes à Gray, ces alternances ne sont plus reconnaissables, toute la masse paraît également détrempée, ou bien les points où les suintements sont le plus abondants se fondent sans transition sensible avec le reste du talus. C'est ce qui a conduit à dessécher par les collecteurs toute la surface du talus en rapprochant seulement davantage les drains dans les parties les plus humides.

« L'emploi du collecteur central, fait observer M. Ledru, a ce grand avantage d'absorber immédiatement toutes les eaux qui séjournent ordinairement dans les tranchées argileuses; les drains qui débouchent souterrainement dans ce collecteur sont immédiatement à l'abri de toute obstruction et de toute avarie. L'assèchement des talus est immédiat et complet, et les déblais sont peu détrempés par les eaux, ce qui est très-important pour la confection des remblais. Le collecteur assèche le fond de la tranchée et assure au ballast une assiette ferme et sèche là où autrement on aurait eu à le répandre sur une aire de boue

« Enfin, lorsque les eaux suintent à la surface du talus par une multitude de petites ouvertures, la gelée peut facilement obstruer ces issues, l'eau s'accumule derrière, et, au dégel, il peut en résulter des éboulements dans les talus. Lorsque toutes les eaux de la tranchée débouchent souterrainement dans un collecteur unique, elles forment généralement une source qui coule d'une manière continue avec assez d'abondance pour être à l'abri de toute obstruction produite par l'action de la gelée. D'ailleurs, le débouché unique du collecteur est placé à $1^m,50$ au moins en contre-bas du niveau de la plate-forme des terrassements et au delà de l'extrémité de la tranchée; il est facile d'en prévenir l'engorgement, et, cet engorgement eût-il lieu, il ne pourrait avoir aucune suite fâcheuse, puisque le collecteur débouche dans un fossé spécial ouvert à la surface du terrain naturel.

« Quant à l'engorgement souterrain du collecteur, il n'est pas à craindre lorsque ce collecteur, fait avec des drains de 85 millimètres de diamètre, est recouvert d'une couche de pierres sèches suffisante pour assurer l'écoulement de l'eau par leurs interstices dans le cas même de l'obstruction du drain lui-même. »

Le mode de drainage de M. Lalanne a bien réussi sur tous les points du chemin de Blesmes à Gray ou du chemin de l'Ouest (Suisse) où il a été employé.

Il a le grand avantage d'assécher le talus beaucoup plus profondément que les drainages ordinaires, il n'exige aucun autre transport de matériaux que celui des drains eux-mêmes, son exécution est partout facile et ne gêne en rien les autres travaux de chantier.

On peut proportionner l'espacement des trous, et, par conséquent, la dépense, à l'effet produit par chacun d'eux, et, au plus ou moins d'humidité de chaque partie du talus, on peut toujours facilement intercaler de nouveaux tuyaux là où apparaissent des suintements non constatés primitivement.

Mais ce mode de drainage ne peut être appliqué qu'à un terrain vierge, qui ne présente aucune trace de glissements, car le moindre mouvement interromprait immédiatement la continuité des drains. Il exige, en outre, un caniveau au moins gazonné sur le talus pour

l'écoulement des eaux de chaque drain; il est à craindre que la gelée n'obstrue facilement les débouchés multipliés de tous ces drains, que l'eau ne s'y amasse et que le dégel n'occasionne des éboulements.

Ce procédé a été employé depuis trop peu de temps pour que l'on puisse présumer comment il se comporterait dans un hiver rigoureux; mais l'on a remarqué, au chemin de Blesmes à Gray, un fait qui pourrait faire craindre cet effet de la gelée, en même temps qu'il confirme la théorie de M. de Sazilly sur l'importance de prévenir toute obstruction superficielle de l'écoulement des eaux.

Un certain nombre de trous avaient été forés dans le talus gauche d'une grande tranchée, et n'avaient pas été garnis immédiatement de drains, faute d'approvisionnement. Au bout de quelques jours, on a pu voir que le talus commençait à se mettre en mouvement, et, en l'examinant de plus près, on a reconnu que la terre qui avait glissé du talus avait, en partie, obstrué le débouché des trous de tarière, formant une petite cuvette dans laquelle s'amassait et pénétrait la masse du talus, au lieu de couler à la surface. Il est vrai qu'il a suffi d'enlever à la main une ou deux poignées de terre à l'orifice de chaque trou, pour donner écoulement aux eaux et pour arrêter tout mouvement.

Reconstruction des talus éboulés dans les tranchées. — Quelquefois, quand on a négligé d'assainir les talus ou quand les travaux d'assainissement n'ont pas été exécutés convenablement, des portions de talus plus ou moins considérables s'éboulent, et il faut le reconstruire. On suit pour cela différentes méthodes dont nous allons chercher à donner une idée nette.

La figure 59 représente une première méthode employée sur le chemin de Londres à Birmingham.

Les lignes courbes de la coupe et *mm* du plan représentent la surface d'éboulement. En avant de ces lignes on trouve le talus reconstruit. Le mur est en pierres sèches pour en soutenir le pied et laisser couler les eaux; les épis en pierres sèches EE livrent passage aux eaux et divisent le talus en masses indépendantes

K K composées de bonnes terres pilonnées et maintenues en place par le frottement.

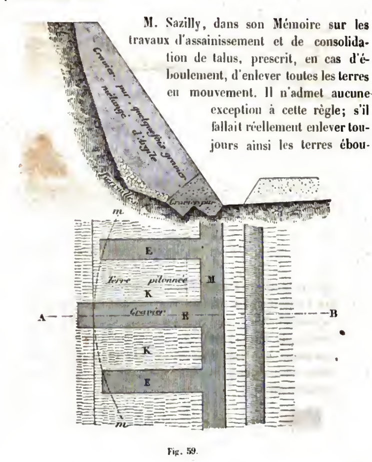


Fig. 59.

M. Sazilly, dans son Mémoire sur les travaux d'assainissement et de consolidation de talus, prescrit, en cas d'éboulement, d'enlever toutes les terres en mouvement. Il n'admet aucune exception à cette règle; s'il fallait réellement enlever toujours ainsi les terres éboulées, les travaux de consolidation deviendraient, dans certains cas, énormes et excessivement coûteux; mais, ainsi que l'observe avec justesse M. Bruère cette opération, dans la plupart des circonstances, n'est nullement nécessaire. Il ne faut enlever la totalité des terres éboulées, dit M. Bruère, dans les notes qu'il a bien voulu nous fournir, que si l'éboulement est peu considérable; on recon-

struit alors le talus comme l'indique la figure 60, qui reproduit un travail exécuté à la tranchée de Briel sur le chemin de Mulhouse, le fond des glacis se trouvant au-dessus du fond de la tranchée, ou comme le montre la fig. 61, si le fond du glacis est en contre-bas du sol de la tranchée[1].

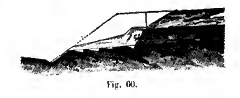


Fig. 60.

Si la largeur de l'éboulement est considérable, et si la pente inférieure des glacis a une pente moindre que $0^m,20$ par mètre, il devient inutile d'enlever toutes les terres éboulées.



Fig. 61.

Les fig. 62 et 63 représentent le talus reconstruit dans deux cas différents. Le premier est celui où, la masse des terres éboulées n'étant pas considérable et la pente du glacis étant faible, il n'est pas nécessaire de soutenir les terres éboulées. Le second est celui où, au contraire, les terres éboulées se trouvant en grandes masses et reposant sur un glacis incliné, il faut les appuyer contre un massif inébranlable.

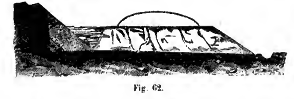


Fig. 62.

On donne à ce massif A B C D une épaisseur plus ou moins grande, suivant que la pression est plus ou moins forte, et on a soin de ménager un écoulement aux eaux qui pourraient pénétrer dans la

[1] Voir page 174 la description des travaux de ce chemin.

masse éboulée. Il est utile aussi de mettre de distance en distance la pierrée en arrière du massif ABCD en communication avec le

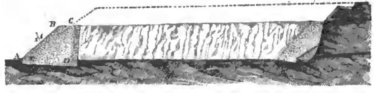


Fig. 65.

fossé qui longe le chemin de fer à l'aide de pierrées transversales qui traversent le massif ABCD.

Nous avons parlé d'accidents qui étaient survenus à la tranchée de Soultz et qui avaient nécessité la reconstruction de certaines parties des talus. La note suivante, empruntée à un rapport de M. Goschler, ingénieur principal au chemin de fer de l'Est, qui a lui-même fait exécuter cette reconstruction, indique les moyens employés pour rétablir le talus.

« C'est au commencement de septembre 1854 que la tranchée dite d'assèchement établie en amont de la tranchée de Soultz a été terminée.

« A ce moment-là, il n'y avait d'éboulement bien sérieux que celui au piquet 164, à l'entrée de la tranchée vers Wissembourg; la tranchée était à profondeur et à largeur dans cette partie-là.

« Cet éboulement consistait en un massif de 50 mètres de longueur, détaché sur 15 mètres environ de largeur, glissant sur un banc de glaise ayant une pente de $0^{m},18$ par mètre.

« Comme on comptait sur les effets de la tranchée d'assèchement et qu'on espérait voir s'arrêter les mouvements de ce massif, on s'est contenté de combler la fissure produite en y pilonnant des terres avec soin.

« On établit aussi en amont et parallèlement à la fissure une banquette en revers d'eau destinée à détourner les eaux pluviales qui auraient pu s'introduire dans les terres disloquées du massif en mouvement et reproduire le glissement. On continuait toujours à mettre la tranchée à fond suivant le profil modifié, quand, après une série de jours de pluie, le massif s'est remis en mouvement et

glissa jusque dans la tranchée; le mode suivi pour arrêter cet éboulement a été de remanier le massif par zones transversales de 5 à 8 mètres de longueur, en rétablissant l'horizontalité du banc de glaise par banquettes de 2 mètres de largeur (fig. 64); ces banquettes étaient à peu près parallèles à la fissure, avaient une légère pente opposée à celle du banc de glaise, aboutissant à une rigole empierrée pour rendre les eaux à d'autres rigoles normales à la tranchée et communiquant avec le fossé du chemin de fer.

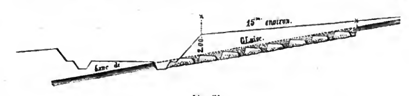


Fig. 61.

« La glaise extraite des banquettes a été enlevée et mise en dépôt; la bonne terre seule a été employée pour combler l'éboulement. Ce travail a été exécuté par zones ou parties pour éviter les grands mouvements de terre.

« Ce même travail a été fait sur 60 mètres de longueur; le résultat a été très-bon, il n'y a eu aucun mouvement nouveau dans cette partie-là.

« A la suite de l'éboulement dont il vient d'être question (au profil 163ᵃ), le banc de glaise a pris, et presque subitement, une inclinaison beaucoup plus forte, c'est-à-dire une pente de $0^m,60$ à $0^m,70$ par mètre. Dans cette partie, il n'apparaissait aucune partie de glaise dans le talus ni dans le fond de la tranchée; on croyait n'avoir aucun éboulement à craindre; ce n'est que lorsque la tranchée a été tout à fait à fond et les fossés ouverts que l'éboulement s'est manifesté; le poids du massif en mouvement sur une pente aussi forte a soulevé et déplacé le fond de la tranchée.

« Deux autres éboulements, au profil 162 et au profil 162ᵃ, sont dans les mêmes conditions que le précédent, et ont été réparés et garantis de la même manière en faisant un caniveau *b* (fig. 65) au haut du banc de glissement, et en recouvrant celui-ci d'un matelas général de gravier que l'on prolongeait au-dessous du plafond de la tran-

chée jusqu'aux terres éboulées. Comme le niveau des fossés ordinaires du chemin de fer était beaucoup au-dessus des points d'où sortent les eaux, on a établi une rigole profonde et empierrée dans l'axe de la tranchée qui aboutit au piquet 159 pour se jeter dans la Saltzbach.

« Cette rigole, qui reçoit les eaux de ces trois éboulements 163ᵃ, 162ᵃ et 162, et de deux bouches de la grande tranchée d'assèchement, donne encore aujourd'hui 8 à 900 litres d'eau par heure. Au profil 163, sur 75 mètres environ de longueur, l'éboulement s'est produit sur $1^m,50$ de hauteur et aussi par glissement ; en cet endroit la couche de glaise est à peu près parallèle à la surface du sol ; le massif glaiseux, haut de 4 mètres environ au-dessus du fond de la tranchée, est partagé dans toute sa hauteur par des couches de sable de $0^m,05$ à $0^m,20$ d'épaisseur.

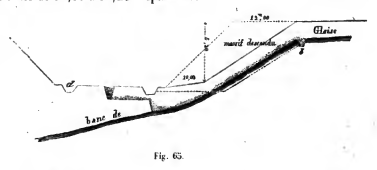


Fig. 65.

« Le massif parait être en communication avec la tranchée d'assèchement, car, aussitôt que le caniveau (a) a été fait sur la couche supérieure (où s'est produit le glissement), il n'y a plus eu d'eau apparente dans les diverses couches de sable et de glaise qui composent ce massif ; la tranchée a conservé son profil normal sur la longueur et la hauteur du massif.

« Je crois que les eaux pluviales, qui sont tombées dans l'espace de 15 mètres au moins de largeur moyenne compris entre l'arête supérieure du talus et la tranchée d'assèchement, ont contribué à une partie des éboulements. Quant aux éboulements des profils 163ᵃ, 162ᵃ et 162 (fig. 66), leur cause est suffisamment expliquée par l'inclinaison extraordinaire de la couche de glaise : cette couche de

glaise, n'étant mise à jour sur aucun point bas, a pu conserver assez d'eaux anciennes pour donner à la surface de la glaise toute l'onctuosité qui a provoqué le glissement. »

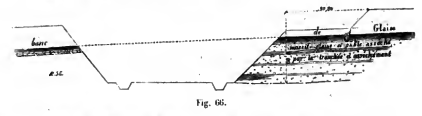


Fig. 66.

Construction des remblais. — Les remblais des routes et des canaux s'exécutent ordinairement par couches successives que l'on prescrit quelquefois de pilonner, et qui, dans tous les cas, sont comprimées par les roues des tombereaux et par les pieds des chevaux.

Sur les chemins de fer, il serait trop long et trop dispendieux d'élever de grands remblais par couches pilonnées ou même simplement au moyen de tombereaux sans pilonnage; ces grands remblais, si ce n'est dans certains cas particuliers, se font en masse sur toute la hauteur à la fois, c'est-à-dire qu'une petite portion de remblai, voisine de la tranchée, étant achevée sur toute la hauteur, on la continue en déposant des terres à l'extrémité jusqu'à la crête. Ce n'est qu'en procédant de cette manière que l'on peut employer le chemin de fer au transport des terres; la pose de la voie se fait alors sur le remblai au fur et à mesure de son avancement, et les waggons de terrassement viennent se décharger à l'extrémité de la voie, qui est aussi celle du remblai.

Il n'est ici question que de remblais qui, étant d'une grande hauteur, sont aussi d'une certaine longueur; car, lorsque la terre n'est portée en remblai qu'à une petite distance, il est souvent plus économique de se servir, pour les terrassements, de tombereaux que de waggons. Les remblais exécutés au tombereau sont d'ailleurs plus divisés et sujets à de moins grands tassements que ceux exécutés avec des waggons. Il ne faut pas oublier, d'un autre côté, que l'emploi des tombereaux devient souvent impossible dans certains terrains après de grandes pluies, tandis que le service des waggons ne souffre aucune interruption.

Quand les remblais sont conduits avec précipitation et par masses d'une grande hauteur au-dessus et autour des ouvrages d'art, il arrive fréquemment que les maçonneries se fendent ou se gauchissent. Ils doivent donc être faits dans ce cas avec beaucoup de précaution, être montés en même temps des deux côtés des voûtes en maçonnerie, et étendus uniformément sur ces voûtes par couches pilonnées d'environ 25 centimètres d'épaisseur.

Lorsque de grands remblais reposent sur des terrains compressibles, il est nécessaire d'employer des précautions analogues pour ne pas écraser le terrain ni le rompre en chargeant tout d'un coup certains points d'une masse excessive.

Il convient aussi, lorsque ces terrains compressibles sont composés de couches inclinées, qui peuvent glisser les unes sur les autres, de commencer le remblai en descendant les terres dans le fond de la vallée au moyen de tombereaux, au lieu de le monter immédiatement à hauteur, au sortir de la tranchée, avec les waggons. Mais ces précautions ne suffisent pas toujours pour empêcher l'affaissement du sol, lorsque le remblai est parvenu à une certaine hauteur. Un des moyens les plus simples de prévenir cet affaissement autant que possible est d'élargir la base du remblai, de manière à diminuer la pression sur l'unité de surface autant que la compressibilité du sol l'exige. Les grands remblais, malgré cette précaution, pénètrent encore à une assez grande profondeur dans le sol. Ainsi, au chemin de Mulhouse, le grand remblai de la Meance près Provins, cubant 500,000 mètres cubes, et haut de 15 mètres au maximum, a pénétré de 5 mètres dans le sol. Le cube enfoui est d'environ 200,000 mètres cubes, soit 2/5 mètres environ du cube total.

Lorsque le terrain, aux abords des remblais, est couvert de constructions ou qu'il est très-précieux, ce procédé serait trop dispendieux. On peut rendre le terrain incompressible en le desséchant (remblais sur le chemin de Munich à Augsbourg [1]), ou encore on diminue le poids du remblai en le composant de matériaux légers et qui laissent entre eux des vides (remblais aux abords du pont de Cubzac). Le dessèchement du sol s'opère au moyen de rigoles, pierrées, aqueducs, puits absorbants, etc., etc.

[1] Voir page 101 la description des travaux de ce chemin.

Au chemin de fer de Versailles (rive gauche), l'ingénieur en chef, M. Bergeron, a arrêté le glissement d'une couche de glaise sur laquelle était placé un grand remblai (fig. 67) par un procédé fort ingénieux que nous allons décrire.

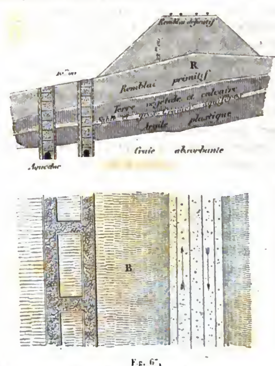


Fig. 67.

Les eaux d'infiltration et de sources qui remplissaient une couche de sable et de gravier, au-dessus d'un banc très-épais d'argile plastique, rendaient le sous-sol glissant et compressible. Malgré un grand nombre de tentatives, il avait été impossible de terminer le remblai projeté, et la traversée du Val-Fleury s'est faite à l'aide de deux estacades en charpente reliant les deux culées du viaduc au flanc du coteau. Après sept années d'usage, les estacades n'offrant plus assez de sécurité pour le passage des trains du chemin de fer, il a fallu revenir au projet définitif et employer des moyens convenables pour rendre le sous-sol résistant. Ce but a été atteint par

deux pierrées parallèles à l'axe du chemin, espacées de 10 mètres, régnant sur toute la base du remblai, et creusées verticalement au moyen de blindages et d'étrésillonnements jusqu'à 12 ou 15 mètres de profondeur. Ces deux pierrées étaient reliées entre elles par des pierrées transversales. En quelques points, la couche d'argile plastique avait plus de 8 mètres d'épaisseur.

Les eaux se sont écoulées, par de petits aqueducs établis au fond et le long de toutes les tranchées, jusque dans un puisard général creusé profondément dans la craie absorbante, où elles ont disparu.

Les pierrées ont produit un resserrement dans la couche aquifère au-dessus du banc d'argile, et tout le massif, de 10 mètres d'épaisseur, compris entre les tranchées parallèles, s'est trouvé complétement asséché, et a agi comme mur de soutènement, pour contenir le glissement du terrain supérieur.

C'est au moyen de ce procédé que les estacades du Val-Fleury ont pu être remplacées par le remblai définitif, très-élevé, sur lequel passe aujourd'hui le chemin de fer de l'Ouest.

Sur le même chemin, près de la station de Sèvres, un remblai en argile, exécuté par un temps humide, tendait sans cesse à s'écraser. Malgré tous les soins que l'on avait pris de pilonner les couches de glaise et de les assécher avec des couches de sable pour faciliter l'écoulement des eaux souterraines, des affaissements brusques avaient eu lieu fréquemment, et plusieurs fois il avait fallu déplacer l'axe du chemin de fer. On a employé alors avec succès des boulons en fer traversant tout le remblai à 2 mètres environ au-dessous de la voie de fer, et terminés aux extrémités par des plateaux en bois de chêne, contre lesquels venaient s'appuyer les terres glissantes. Ces boulons faisaient ainsi l'effet des boulons en fer que l'on pose dans les édifices pour relier deux murs verticaux parallèles qui tendent à s'écarter. Cependant, après plusieurs années, ce remblai boulonné a encore éprouvé des glissements à sa partie inférieure, et l'on y a définitivement remédié, d'un côté, par une pierrée semblable à celle du viaduc du Val-Fleury, et, de l'autre, par une ligne de pieux et planches jointifs enfoncés, au moyen de la sonnette, tout le long de la base de la portion glissante du remblai, comme l'indique la figure 68.

Les remblais composés de terres glaiseuses, lors même qu'ils reposent sur des terrains incompressibles, sont sujets à s'affaisser ou à s'ébouler. Il faut, pour les contenir, bien dessécher la glaise et la préserver en même temps de l'effet des eaux pluviales et de celui des eaux de source. On arrête les eaux pluviales en enveloppant le

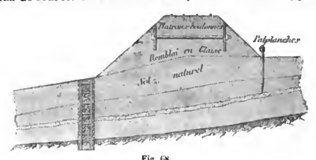


Fig. 68.

remblai d'une couche de bonne terre pilonnée avec soin, de telle façon que l'intérieur seul soit de glaise, et l'on détourne les eaux de source du pied du remblai au moyen de fossés, d'aqueducs ou d'autres travaux du même genre.

Les remblais glaiseux doivent aussi être pilonnés, et, autant que possible, élevés en bonne saison. Enfin on a trouvé avantageux d'interposer des couches de sable entre les assises de glaise.

Reconstruction des remblais éboulés. — Les talus de remblais aussi bien que ceux des tranchées s'éboulent quelquefois après l'achèvement du remblai. Voici comment, au chemin de Mulhouse, on les a reconstruits en pareil cas.

Causes des éboulements de remblais. — Les éboulements de remblais sont souvent occasionnés par l'interposition de couches perméables de sable ou de boue (fig. 69 et 70).



Fig. 69.

Le sable provient de couches accidentelles existant dans le terrain déblayé, la boue provient des cunettes.

Dans d'autres cas, les éboulements doivent être attribués à la dif-

férence de nature des terres qui composent le remblai, les unes perméables CD, les autres imperméables AB (fig. 69).

Fig. 70.

Les remblais au waggon se composent généralement de terres déposées de deux manières et à deux reprises différentes. Le noyau du remblai est formé d'abord avec des terres transportées au moyen des waggons qui se déchargent en avant; ces terres, extraites dans les cunettes, contiennent proportionnellement plus de parties argileuses que celles qui forment les prismes latéraux du remblai; celles-ci sont transportées avec des waggons au moyen desquels elles sont déchargées ensuite sur les côtés.

La partie centrale du remblai est ainsi composée d'un terrain plus imperméable que celui des prismes latéraux, en raison de ce qu'il contient plus de parties argileuses à volume égal et du tassement qui s'est déjà produit par le temps et le passage de waggons avant qu'on ait déposé les prismes A et B (fig. 71).



Fig. 71.

Quelle que soit la composition du remblai, il est évident que l'action de l'eau sera ici, comme dans les tranchées, la cause principale des éboulements. Les eaux traversant les couches perméables de sable ou de boue descendent jusqu'à la base, y ramollissent les terres et déterminent ainsi l'éboulement des prismes P et P'; ou bien, si la composition du remblai se rapproche de celle indiquée figure 71, il se produit des crevasses entre les terres de densité différente, et c'est par ces crevasses que l'eau s'introduit dans le corps du remblai.

De ce qui précède, il résulte que les remblais faits au tombereau sont moins sujets à s'ébouler que ceux faits au waggon, et qu'il se-

rait fort sage de mettre de côté les portions sableuses et les boues des cunettes ; mais le remblai, s'il est fait au waggon, n'en restera pas moins composé ordinairement de terres de densité différente, celles qui forment le noyau et qui sont déposées par les waggons virant devant, et celles jetées latéralement par les waggons virant de côté. On préviendrait les éboulements en établissant de chaque

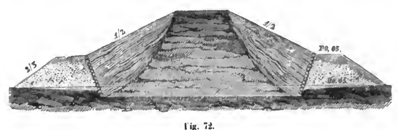


Fig. 72.

côté du remblai un contre-fort en terre végétale ou sablonneuse séparé du remblai par un empierrement (fig. 72).



Fig. 73.

Il est plus difficile de réparer les éboulements que de les prévenir.

Pour réparer le talus, on n'enlève les terres éboulées que sur la largeur d'une bande de terrain nécessaire à l'emplacement d'un contre-fort B (fig. 73) en terre pilonnée. Ce contre-fort sera séparé du remblai par une couche de pierres ou de fascines de gravier.

Il sera coupé de distance en distance par des saignées transversales remplies également de pierres ou de fascines. Si les terres éboulées sont humides, il convient de prolonger ces saignées au travers de ces terres jusqu'au noyau solide.

Souvent, le remblai s'affaissant, il se forme une espèce de poche au milieu de la glaise éboulée. Il faut alors se hâter de pratiquer dans la glaise des saignées transversales pour donner écoulement aux eaux qui se rassemblent dans cette poche ; mais ces travaux ne se font convenablement que dans la belle saison.

Il semble qu'étant obligé de recharger les remblais glaiseux qui s'affaissent de bonne terre ou de ballast de manière à les renouveler, pour ainsi dire, en entier, il eût été plus économique de les composer immédiatement de bonne terre ou même de ballast. Mais on doit observer que généralement, au moment où l'on construit les remblais, les abords sont difficiles, et qu'on n'a pas alors les moyens que fournit plus tard le chemin de fer lui-même d'aller chercher à une certaine distance la bonne terre ou le ballast.

Ouvrages d'art. — Les ouvrages d'art sur les chemins de fer ne diffèrent des ouvrages de même nature établis sur les routes ordinaires que par la grandeur de leurs proportions.

De légères passerelles en bois (fig. 74), en pierre ou en métal, sont jetées hardiment sur de profondes tranchées; des ponts en



Fig. 74.

pierre d'une grande portée et d'immenses estacades en charpente, des viaducs gigantesques, supportent les chemins de fer au passage des vallées.

Ponts ou viaducs de différentes natures. — Les ponts ou viaducs sont de différentes espèces : on distingue les ponts en bois, en pierre ou en briques, en fonte et en fer forgé ou en tôle. *Les ponts ou viaducs en bois sont généralement les plus économiques de con-*

struction, mais ils sont les moins durables. Aucun des procédés proposés pour la conservation des bois ne paraît en avoir augmenté la durée d'un grand nombre d'années. Tous ces procédés sont à l'état d'essai, et on ne peut en garantir l'efficacité que dans quelques cas particuliers que nous indiquerons en parlant de la conservation du bois pour les traverses.

La Compagnie du chemin de Rouen s'est vue obligée de remplacer ses nombreux ponts en bois par des ponts en métal, dix ou onze ans après l'ouverture de la ligne, et le pont en bois d'Asnières (chemin de Saint-Germain) a disparu après douze années seulement de service.

En Allemagne, dit M. Couche[1], la plupart des ponts construits sur les chemins de fer étaient en charpente, tantôt sur piles en maçonnerie, tantôt sur palées. Une réaction s'est produite aujourd'hui contre l'introduction du bois dans les travaux d'art des grandes lignes. La durée des grands ponts en charpente sur les cours d'eau a été bien souvent au-dessous des évaluations les plus modérées en apparence. On les reconstruit aujourd'hui en pierre ou en métal.

En Autriche, toutefois, si on renonce au bois pour les ponts considérables, on continue à l'admettre pour les ouvrages d'une importance médiocre. La condamnation prononcée par l'expérience ne s'applique d'ailleurs jusqu'à présent, même pour les grandes ouvertures, qu'aux cas où le tablier doit être placé à une faible hauteur au-dessus de l'eau, et soumis ainsi à l'influence atmosphérique constamment humide. Quand il s'agit de franchir des vallées profondes, c'est-à-dire pour les viaducs, la question change de face : d'une part, la décomposition des bois n'est plus favorisée par une cause aussi puissante; de l'autre, la facilité avec laquelle les ouvrages en charpente se prêtent aux plus grandes portées est alors d'autant plus précieuse que la hauteur des piles rend leur construction fort dispendieuse. Restreinte à ce cas, l'application du bois a conservé encore une grande importance.

En Angleterre, suivant M. de Bassompierre, ingénieur des ponts et chaussées et ingénieur principal du chemin de Vincennes[2],

[1] *Annales des mines.*
[2] Rapport à la Compagnie de l'Est.

lorsque la pierre manque et si le fer est loin et rare, les ingénieurs n'hésitent pas devant l'emploi du bois, du moins pour la construction de viaducs sur des vallées sèches. Toutefois ces ouvrages sont ordinairement relégués sur des lignes secondaires, et, autant que possible, sur des lignes affectées spécialement à un trafic de marchandises ou à l'exploitation des houillères ou des usines.

En Amérique, aux États-Unis, au dire de M. Grenier, ingénieur principal du chemin de Strasbourg, on continue à faire emploi, même pour le passage des rivières, sur une grande échelle, d'ouvrages tout en bois ou en bois et fer.

Les ponts en pierre ou en briques sont d'une solidité à toute épreuve et d'une durée indéfinie. Ils sont, dans un grand nombre de localités, en France et en Allemagne surtout, tout aussi économiques pour des portées modérées que les ponts en fonte ou en fer, et peuvent être construits par les méthodes expéditives, usitées aujourd'hui, aussi rapidement que ces derniers.

On en trouve un très-grand nombre sur les chemins anglais, français, belges et allemands. En Angleterre et en Belgique, les ouvrages en briques sont plus communs que ceux en pierre. En Angleterre cependant, on trouve de très-beaux ouvrages en pierre, parmi lesquels nous citerons le magnifique viaduc de Durham, celui de Llangollen et celui de la Boyne à Drogheda.

Les ponts en fonte sont élégants et souvent économiques; mais la fonte n'offre pas les mêmes garanties de solidité que le fer forgé. Les grandes pièces présentent souvent des soufflures qui en altèrent la qualité et dont on ne découvre l'existence que lorsqu'elles viennent à rompre. Elles sont moins élastiques que celles en fer et ne se prêtent pas aux épreuves avant leur emploi. Le travail de la fonte n'est pas aussi facile à calculer que celui du fer, et enfin les ponts en fonte n'admettent pas les mêmes portées que ceux en fer. L'usage en était assez fréquent en Angleterre il y a quelques années; mais depuis lors, dit M. de Bassompierre, la tôle a complétement détrôné la fonte. En France, on continue à établir des ponts en fonte dans certains cas. Ainsi une partie des ponts du chemin de Lyon à la Méditerranée sont en arcs de fonte, établis dans un système propre à M. Émile Martin, de Fourchambault, et l'on est sur le point de

remplacer les ponts en bois du chemin de Rouen par des ponts en fonte dont plusieurs présentent des arches de 50 mètres d'ouverture.

En Allemagne, l'emploi de la fonte est très-restreint.

Le principal avantage des ponts en fer ou en tôle rivée est de se prêter à l'emploi de pièces droites, pleines ou évidées, d'une immense longueur et d'une grande durée. Quelquefois économiques, ces ponts sont les seuls possibles lorsque le débouché doit avoir une hauteur constante et être d'une grande largeur.

La mise en œuvre des tôles rivées[1] a pris, ces dernières années, en Angleterre surtout, un accroissement prodigieux : la construction des navires en fer, des locomotives et des ponts pour chemins de fer en a multiplié les applications à l'infini.

En France, on a aussi adopté les ponts en tôle rivée ; mais un grand nombre d'ingénieurs ne considèrent pas l'expérience faite jusqu'à ce jour des ponts en tôle comme assez concluante pour les substituer aux ponts en pierre, à prix égal et même avec une légère diminution de prix. Ils ne conseillent l'emploi de la tôle que lorsque l'économie est très-grande et que les circonstances rendent l'emploi de la pierre à peu près impossible. Ils craignent que les ponts en tôle ne se détruisent ou ne se disloquent au bout d'un certain temps par l'oxydation du métal et par le jeu des rivets.

On a, dans plusieurs ponts ou viaducs importants d'Angleterre, associé la fonte et le fer. Malgré le succès de ces ouvrages, qui supportent sans aucune altération les passages à toute vitesse des trains nombreux qui les traversent, cet emploi, déjà si restreint de la fonte n'a pas fait école dans l'art de l'ingénieur. MM. Robert Stephenson, Brunel, Fairbairn et beaucoup d'autres illustrations du corps des ingénieurs anglais repoussent énergiquement une combinaison dont ils contestent les avantages.

En France et en Angleterre le principe de la suspension a été constamment rejeté pour les ponts sur lesquels la voie de fer doit passer; mais il n'en est pas de même aux États-Unis, et les ingénieurs autrichiens se proposent d'en tenter l'application à quelques ouvrages nouveaux.

[1] Rapport de M. de Bassompierre.

Combinaisons diverses. — On distingue :

Les ponts ou viaducs en bois ou en bois et fer. — Avec arcs ou fermes supportant le tablier.

Id. avec arcs ou fermes placés au-dessus du tablier, en totalité ou en partie, le tablier leur étant suspendu.

Id. droits avec parapets rigides tout en bois (*ponts américains*).

Id. droits avec parapets rigides en bois et fer.

Id. droits avec colonnettes en fonte ou en fer.

Les ponts ou viaducs en pierre ou en briques.— En plein cintre ou avec voûtes plus ou moins surbaissées.

Les ponts ou viaducs en fonte composés d'arcs ou de poutres.

Les ponts ou viaducs en fer. — Composés d'arcs en fer ou en tôle rivée.

Id. de poutres en fer.

Id. de tubes en fer (*tubulaires*).

Id. de treillis en fer.

Id. suspendus.

Les ponts ou viaducs en fer ou tôle et fonte ou diversement combinés.

Ponts ou viaducs en bois. — Nous citerons comme un exemple de viaducs en bois avec arcs placés sous le tablier les magnifiques viaducs du chemin de Newcastle à North-Shields, dont nous avons publié la description en 1839, dans le *Journal de l'Industriel et du Capitaliste.* Les arcs sont formés de planches superposées et clouées ensemble comme les fermes des combles du colonel Emy; elles reposent sur des culées et des piles en pierre.

Les ponts sur fermes en charpente ou estacades sont assez communs sur les chemins de second ordre de Cornouailles et des environs de Newcastle. Ces chemins, obligés de traverser souvent des contrées difficiles ou accidentées, ont donné lieu quelquefois à de belles constructions dont on admire la hardiesse et la légèreté.

Les figures 75, 76 et 77 représentent les dispositions de deux estacades extraites de la belle collection de dessins rapportée par M. de Bassompierre.

Sur le chemin de Runcorn à Sainte-Hélène, en Angleterre, on a construit une estacade en charpente disposée de telle manière que

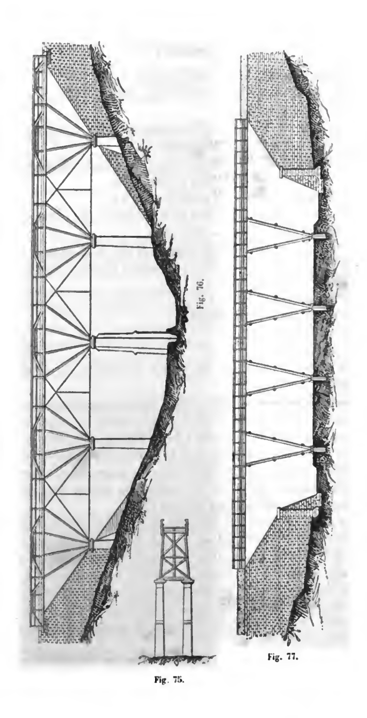


Fig. 76.

Fig. 75.

Fig. 77.

l'on a pu élever sur le même emplacement un pont en maçonnerie sans interrompre le passage des convois, et substituer ce pont à l'estacade sans qu'il y eût pour ainsi dire interruption dans le service.

Le pont en tôle du chemin de Saint-Germain à Asnières a été également construit en entier dans l'intérieur du pont provisoire en charpente construit en 1848, sans qu'il y ait eu la moindre interruption dans le service des chemins de Saint-Germain, de l'Ouest, de Rouen et d'Argenteuil dont tous les convois passent sur cet ouvrage d'art.

Ce n'est guère qu'en Amérique que l'on trouve des viaducs (fig. 78) avec arcs ou fermes en bois placés au-dessus du tablier.

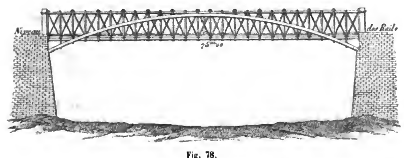


Fig. 78.

Les ponts avec parapets rigides en bois ou en bois et fer sont assez communs en France.

Les ponts avec tabliers en bois portés par des colonnettes en fonte ou en fer se rencontrent assez fréquemment sur nos chemins de fer français, où ils servent au passage des routes en dessus. Les colonnettes ne sont cependant pas sans danger quand elles sont trop rapprochées de la voie, et elles gênent dans le voisinage des stations pour le service de l'exploitation. Il faut autant que possible les éviter, ce qui est généralement facile, en donnant de la rigidité au tablier ou en le suspendant.

Ponts ou viaducs en pierre. — Nous avons déjà fait mention du viaduc de Durham. Il a 40 mètres de hauteur maxima, et il est composé de quatre arches, dont une a 49 mètres d'ouverture, et

une seconde 45 mètres. Celui de Göltsch, en Allemagne, dont la hauteur maxima est de 80 mètres, et la longueur de 578 mètres, est aussi fort remarquable.

Le viaduc en pierre représenté ci-contre (fig. 79) a été construit par M. Payen, inspecteur général des ponts et chaussées, sur le chemin de fer de Versailles (rive gauche), dans le Val-Fleury, près Meudon. Le fond de la vallée est composé d'un terrain argileux fort mou, couvert de quelques couches calcaires. Il eût été de la plus grande imprudence d'asseoir un pareil monument sur une base aussi peu résistante, ainsi que quelques-uns le conseillaient, et M. Payen jugea, avec raison, qu'il était de toute nécessité, quelle que dût être la dépense, de descendre les fondations jusqu'au banc de craie inférieur à celui d'argile.

Le volume des maçonneries cachées sous terre se trouve ainsi presque aussi considérable que la partie visible, et ce n'est pas sans difficultés qu'on est parvenu à poser les premières assises des piles dans une fosse profonde que les éboulements menaçaient à chaque instant de combler.

Les arches de ce viaduc, toutes hardies qu'elles paraissent, le sont cependant beaucoup moins que celles du viaduc de Durham ; mais une des conditions imposées à l'ingénieur était d'exécuter ce travail avec une extrême rapidité, et l'on conçoit aisément qu'une arche unique, de grandes dimensions, ne puisse se construire aussi rapidement qu'un grand nombre d'arches plus petites, qui forment comme autant de petits ponts distincts, que l'on peut élever simultanément. L'économie, d'ailleurs, avec une arche unique, est moins grande qu'on ne le supposerait. La diminution de dépense sur les maçonneries est en partie compensée par l'excès de frais sur les cintres.

Les convois, même les plus lourds, peuvent, sans le moindre danger, passer à toute vitesse sur des ponts en charpente d'une légèreté excessive, si les différentes pièces en sont bien combinées et bien assemblées. Nous avons dit plus haut qu'au chemin de Versailles (rive gauche) une partie des remblais, aux abords du viaduc dont nous venons de parler, avait été provisoirement remplacée par des estacades en charpente d'une excessive légèreté. Ces estacades, au premier aspect, paraissaient manquer de solidité ; mais

Pl. 7



Viaduc du Val Fleury
Chemin de fer de Paris à Versailles (Rive gauche)

Pag. 628

l'expérience a prouvé qu'elles présentaient une résistance plus que suffisante, malgré le poids, le nombre et la vitesse des convois qui chaque jour les ébranlaient par leur passage. La charpente fléchissait, mais ne se rompait pas.

Ces estacades n'étaient pas remarquables seulement par leur légèreté. Elles reposaient sur un terrain de remblai qui, à la suite de grandes pluies, glissait sur le terrain argileux qui lui sert de point d'appui. Fixées dans l'origine à ce terrain, ces estacades en suivaient tous les mouvements, se disloquaient, et ce n'était qu'à très-grands frais que l'on parvenait à les ramener dans leur position primitive. C'est alors que M. Petiet, aujourd'hui ingénieur en chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord, eut l'heureuse idée d'interposer entre l'estacade et le remblai de grandes semelles sur lesquelles on faisait mouvoir avec une aisance merveilleuse, à l'aide de simples crics, l'estacade entière, dès qu'on s'apercevait de la plus légère déviation. On appréciera tout le mérite de ce travail lors qu'on saura que le poids de cette estacade, y compris celui de la couche de sable et de la voie en fer qu'elle portait, dépassait celui de l'obélisque.

Parmi les ouvrages les plus remarquables en maçonnerie des chemins de fer français, il faut encore citer le beau pont établi pour le passage de la Marne à Nogent, près Paris, et les viaducs aux abords. Ce pont, dont les projets ont été rédigés par MM. Collet Meygret et Pluyette, ingénieurs des ponts et chaussées, sous la direction de M. Vuigner, ingénieur en chef de la Compagnie et avec les conseils de M. Mary, inspecteur général, est un des plus beaux monuments de l'art de l'ingénieur. La figure 80 montre qu'il se compose de quatre arches en plein cintre, ayant chacun 50 mètres d'ouverture. Il est établi en meulières reliées par du ciment romain. Les angles seuls et le parapet sont en pierre de taille. Les viaducs aux abords ont 62 mètres de longueur; les arches de ces viaducs ont 15 mètres d'ouverture, et 20 mètres de hauteur moyenne.

Les fondations n'ont pas été sans difficultés. On a descendu un cylindre en tôle pour se préserver de l'envahissement des eaux de la Marne[1].

[1] Voir les plans complets de cet ouvrage d'art et de celui de Chaumont dans le *Portefeuille*.

Le cintrage et le décintrage d'arches d'aussi grandes dimensions semblaient à certains ingénieurs presque impossibles. L'opération, toutefois, grâce à une méthode ingénieuse trouvée par M. Pluyette, a eu lieu avec une grande facilité.

Le viaduc de Chaumont (fig. 81), construit sur la portion du chemin de Blesmes à Gray qui lui est commune avec le chemin de Mulhouse, est aussi un ouvrage d'art fort digne d'attention. Cet ouvrage est d'une grande élégance, et il est aussi d'une extrême légèreté, puisque le rapport du vide au plein y est de 3,12, tandis que, pour d'autres viaducs, il n'est que de 1,74 ou 2,06. Long de 600 mètres, haut de 50 mètres au maximum, et cubant 60,000 mètres cubes, il a été exécuté en moins d'une année. Cette rapidité d'exécution est un véritable tour de force dont on ne peut citer aucun autre exemple. Il a fallu, pour y parvenir, travailler la nuit à la lumière électrique. Rien n'était plus curieux que la disposition des chantiers pour la construction. Ils seront décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*. Le viaduc de Chaumont fait le plus grand honneur à l'ingénieur en chef, M. Zeiller, à l'ingénieur ordinaire, M. Decomble, et aussi au chef de service des entrepreneurs, M. Gourdin, qui a déployé dans l'exécution une incroyable activité et fait preuve d'un talent incontestable.

En Allemagne, on voit peu de ponts en maçonnerie d'une grande hardiesse, et l'on y fait à peine emploi du ciment romain, dont on commence à tirer un si bon parti en France.

Les chemins de fer coupant souvent les routes ordinaires et les voies navigables sous des angles très-aigus, la construction de ces nouvelles voies de communication a conduit les ingénieurs à de grands perfectionnements dans l'établissement des ponts biais en pierre ou en briques. D'intéressantes notices ont été publiées sur ces ponts dans les *Annales des ponts et chaussées*, par MM. J. Poirée, Didion, Hachette, Boucher, etc..... Au chemin de fer de Ceinture, plusieurs de ces ponts ont été faits en tôle.

Ponts en fonte. — Les plus beaux ponts en fonte connus sont le grand pont de Newcastle, de Robert Stephenson, représenté figure 82, et le magnifique pont établi sur le Rhône, par M. Paulin Talabot, pour le passage du chemin de fer d'Avignon à Marseille.

Pl. 8



L. Guiguet del. et sc.   Imp. ... Paris

Pont-Viaduc sur la Marne,

à Nogent près Paris.

Page 330



Pl 8 bis

Pont-Viaduc sur la Marne,

à Nogent près Paris



Pl. 9



Viaduc sur la Suize.

(Chaumont, Haute Marne.)

Les arches de ce dernier pont, formées de voussoirs dont les surfaces de joint sont planes, sont au nombre de sept. Elles ont cha-

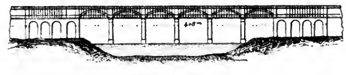


Fig. 82.

cune 65 mètres d'ouverture. Au chemin de fer du Nord, la voie traverse le canal Saint-Denis sur un pont très-biais en fonte, de 32 mètres d'ouverture, exécuté dans le système Polonceau.

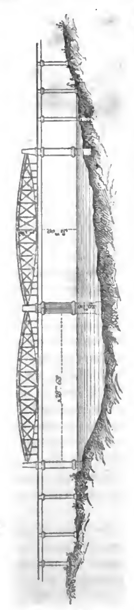
Lorsque la fonte est employée sous forme de poutres, il y aurait du danger à dépasser une portée de 5 mètres.

On peut citer comme un exemple de ponts à poutres en fonte établis dans de bonnes conditions ceux du chemin d'Auteuil, construits par M. Eugène Flachat. Ils ont, entre les culées, 7 mètres de largeur, et se composent de poutres de $8^m,50$ de longueur, ayant de $0^m,55$ à $0^m,60$ de hauteur, placées à environ $2^m,20$ de distance les unes des autres et reliées par des sommiers qui partagent en trois parties égales l'intervalle de 7 mètres qui sépare les culées. Ces sommiers portent des voûtes formées de deux anneaux de briques. Ainsi disposés, ces ponts sont très-rigides. La masse de maçonnerie qui relie les poutres et le poids considérable du pont par rapport à la surcharge forment obstacle aux vibrations.

En Angleterre, quelques accidents graves ayant eu lieu dans les essais de poutres droites en fonte d'une longueur de plus de 7 à 8 mètres, le gouvernement s'en est ému à tel point, que le parlement a interdit, de la manière la plus absolue, l'emploi de ce genre de poutres[1].

Ponts ou viaducs en tôle ou fer forgé. — La Grande-Bretagne offre peu d'exemples de la tôle employée en arcs tubulaires. Le célèbre ingénieur Brunel fils a cependant construit un magnifique pont de ce genre, dont les proportions gigantesques n'ont rien

[1] Rapport de M. de Bassompierre.


Fig. 83.

à envier à celles du Britannia-Bridge, le chef-d'œuvre de Robert Stephenson. Nous voulons parler du grand pont de Saltash, près Plymouth.

Ce pont (fig. 83), précédé sur chaque rive par un viaduc en tôle ordinaire, est composé de deux travées de 455 pieds (138^m,68) chacune. Chaque travée est formée d'un arc tubulaire en tôle rivée, à section elliptique, dont les poussées horizontales sont détruites par une série polygonale de tirants en fer, de manière à former un système rigide auquel sont suspendues, par d'autres tirants en fer, deux poutres en tôle formant garde-corps de la voie unique du railway. Chaque travée a été construite complétement sur un échafaudage élevé le long du rivage et dont le pied baigne à haute mer. La travée achevée a été passée de l'échafaudage fixe sur un échafaudage mobile, posé sur des pontons qui approcheraient la travée du pied des piles, au haut desquelles elle a été hissée au moyen de presses hydrauliques.

Dans cet immense ouvrage, la fonte n'est employée que dans le revêtement des piles au-dessus des hautes mers.

On trouve quelques cas isolés, mais pour des ouvertures ordinaires, où la tôle est employée en poutre tubulaire à section rectangulaire ou en poutre double T. Nous citerons comme exemple le beau pont en poutres de fer établi par M. Flachat à Asnières. Cette seconde catégorie admet des variétés tellement nom-

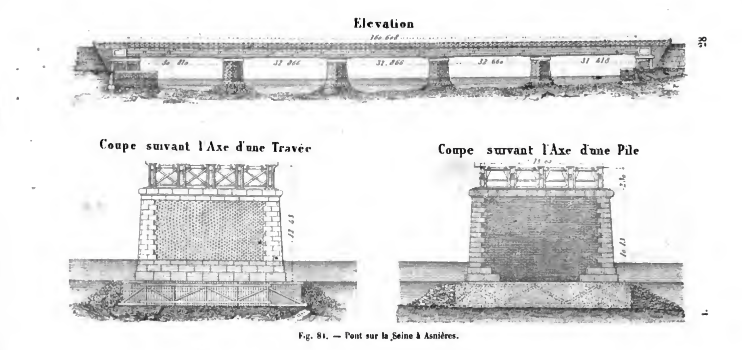


Fig. 81. — Pont sur la Seine à Asnières.

breuses, qu'il ne serait pas possible de les indiquer même sommairement. Les figures 85, 86, 87 et 88 donnent une esquisse des sections transversales des poutres les plus fréquemment employées aujourd'hui. La dernière doit être particulièrement recommandée à l'attention des ingénieurs qui recherchent l'économie. Elle se compose, à la partie supérieure, de deux rails Brunel ou de deux rails Barlow appliqués l'un contre l'autre par leurs bases, et qui sont fixés sur une feuille de tôle formant la paroi verticale de la poutre. Les patins des rails sont rivés ensemble. Des recouvrements en tôle sont appliqués sur ces patins aux abouts des rails. La partie inférieure des poutres est formée, comme à l'ordinaire, d'une plate-bande en tôle reliée par des cornières avec la paroi verticale. Ce genre de poutres peut être fort convenablement employé pour des ponts provisoires.

Les deux ponts tubulaires de Conway et de Menay, établis par Robert Stephenson sur le chemin de fer de Chester à Holyhead, sont les travaux de ce genre les plus remarquables. Ils se composent chacun de deux grands tubes rectangulaires en tôle, à l'intérieur desquels passent les convois. La figure 89 représente la coupe d'un de ces tubes. Dans le pont de Conway, les poutres, longues de 122 mètres entre leurs deux culées, ne sont supportées en aucun point intermédiaire. Elles pèsent chacune 1,150 tonnes. Dans le pont de Menay (fig. 90), la longueur des poutres est de 460 mètres : elles portent sur deux culées et sur trois piles intermédiaires. Les deux travées du milieu ont 140 mètres, les deux extrêmes 70 mètres d'ouverture. Les poutres, de 140 mètres, ont été construites sur le rivage, puis amenées au moyen de radeaux au-dessous de l'emplacement qu'elles devaient occuper; enfin elles ont été élevées à la hauteur considérable de 30 mètres au-dessus des plus hautes marées, au moyen de deux presses hydrauliques placées au sommet des piles. Les tubes de 70 mètres ont été construits en place sur des échafaudages et réunis aux grands tubes au moyen de tubes de raccord; de cette façon, chaque moitié du pont se compose d'une immense poutre de 460 mètres de long, fixée sur la pile centrale et reposant librement sur les deux piles de rive et sur les culées. Chacune de ces poutres pèse 5,400 tonnes.

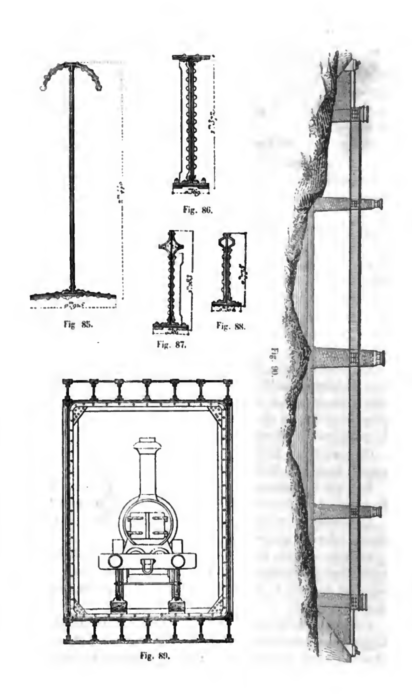


Fig. 85.

Fig. 86.

Fig. 87.

Fig. 88.

Fig. 89.

Fig. 90.

M. Gouin, l'un de nos plus habiles fabricants, a construit, dans le Midi, cinq grands ponts en fer sur la Garonne, le Lot, le Tarn, l'Hérault et l'Orbe. Les quatre premiers sont en tôle, dans le système tubulaire ; le cinquième, dans le système diagonal (espèce de treillis).

Ils sont tous à deux voies. — Les voies ne sont indépendantes que sur deux d'entre eux.

Les portées pour les trois premiers atteignent 80 mètres, pour les autres 40 ou 50 mètres. Le pont de Mâcon, construit également par M. Gouin, se compose de travées de 45 mètres. Les parapets n'ont que $2^m,50$ de hauteur. Un écartement plus grand pour les piles exigerait une plus grande hauteur de parapet.

Aux États-Unis, on construit en ce moment un immense pont tubulaire sur le chemin de fer de New-York au Canada.

Les travées sont au nombre de vingt-cinq, celles du milieu ont $106^m,05$ de portée, les autres $75^m,81$. Les deux piles du milieu ont $5^m,49$ d'épaisseur; celles voisines des culées, $4^m,57$. Les piles intermédiaires augmentent graduellement d'épaisseur depuis les culées jusqu'aux piles du milieu. La distance de l'étiage au plancher du tube est de $18^m,30$. Chacun des tubes aura $5^m,79$ de hauteur à ses extrémités ; cette hauteur augmentera progressivement jusqu'au centre, où elle sera de $6^m,86$. La largeur sera de $4^m,88$. Le poids total du fer employé sera de 10,400 tonnes.

On construit en ce moment un grand pont en treillis pour le passage du Rhin, à Cologne, en Prusse.

Bien que l'érection de ce pont ait été décidée dès l'année 1850, les projets n'ont été arrêtés et le travail n'a commencé qu'en 1855.

L'exécution de cet important ouvrage a été confiée à M. Hermann Lhose, auteur du grand pont sur la Vistule.

Les piles ont été fondées sur un sol de gravier d'alluvion ne s'affouillant pas sensiblement ; ce qui a permis de les élever sur un simple lit de béton de $4^m,50$ d'épaisseur, contenu par une enceinte de pièces jointives.

Les treillis ont $8^m,50$ environ de hauteur, et $1^m,60$ d'épaisseur. Le pont porte en même temps un chemin à deux voies, et une voie charretière avec des trottoirs. — Le chemin de fer et la voie charre-

tière sont juxtaposés, mais sur deux ponts indépendants, bien que s'appuyant sur les mêmes piles.

La largeur du chemin de fer est de 7^{m},53, et de la route 8^{m},48.

Toutes les travées sont fixes. Le tablier est à 15 mètres au-dessus de l'étiage et à 0^{m},60 au-dessus des plus hautes eaux. La navigation des bateaux à vapeur cesse dès que le niveau des hautes eaux atteint 7^{m},85 au-dessus de l'étiage, ou 7^{m},15 au-dessous du tablier.

Les piles sont au nombre de trois. Elles sont écartées de 98^{m},25. Elles ont 6^{m},28 d'épaisseur.

La longueur totale du pont est de 412 mètres.

Les frais de construction de ce grand travail sont évalués à 10,323,000 fr., dont 5,625,000 fr. pour la superstructure. On y accédera par des rampes coûteuses d'établissement. On espère qu'il pourra être livré au public en 1859.

Les bases du projet de pont en treillis pour le passage du Rhin, vis-à-vis de Kehl, ont été arrêtées dans une conférence qui a eu lieu tout récemment, à Strasbourg, entre les commissaires du gouvernement français et ceux du gouvernement badois.

Ce pont aura 235 mètres de longueur totale entre les culées. Le tablier se trouvant à 1^{m},50 seulement au-dessus du niveau des plus hautes eaux, deux travées contiguës aux rives seront mobiles. Les passes auront 26 mètres de longueur; ces travées reposeront, par une de leurs extrémités, sur une culée, et, par l'autre, sur une pile. Aujourd'hui, la navigation n'ayant pas lieu au-dessus de Kehl, les travées mobiles sont pour ainsi dire inutiles. Elles ne sont donc destinées qu'à répondre à des besoins d'avenir.

Les piles seront au nombre de quatre, et elles seront écartées de 56 mètres de parement en parement. Les deux piles extrêmes seront en maçonnerie et auront une épaisseur de 4^{m},50 avec une longueur de 21 mètres. Celles intermédiaires, fondées au moyen de tubes en fonte, d'après un procédé que nous décrirons plus loin, auront 3 mètres de largeur sur 12 mètres de longueur. Le pont portera un chemin à deux voies, séparées par une entrevoie de 1^{m},80. On ménagera sur les côtés des passerelles pour les piétons, mais on n'établira pas de voie charretière. Les voitures continueront à passer sur le pont de bateau, qui sera conservé.

Les fondations en fonte des piles intermédiaires seront protégées par des brise-glace en chêne placés à une distance convenable en amont. La largeur du pont sera d'environ 10 mètres.

On ne trouve en Allemagne ni ponts tubulaires ni ponts sur des poutres creuses comme celui d'Asnières, mais les ponts en treillis y sont nombreux. Le plus remarquable est le pont établi sur la Vistule, à Dirshau, près de Dantzig. Il a 690 mètres de longueur et repose sur deux culées et cinq piles; l'écartement des piles est de 115 mètres de parement en parement. Il ne porte qu'une seule voie.

Nous citerons encore les ponts à treillis de la Nogat, près Mariembourg, composés de deux travées seulement, longues chacune de 97 mètres, et celui d'Offenbourg, sur le chemin badois. Nous donnons ci-contre (fig. 91 et 92) l'élévation longitudinale et celle d'une des têtes de ce dernier pont. Il a remplacé un pont en fonte de cinq arches, emporté, en 1852, par une débâcle.

Les chemins Central et Sud-Est Suisse, construits par l'habile ingénieur Carl Etzel, nous offrent des spécimens remarquables de ponts en treillis dont nous avons donné les principales dimensions en décrivant le tracé de ce chemin.

Les figures 93, 94 et 95 représentent trois de ces ponts, et on trouvera aux documents un tableau indiquant le prix détaillé de tous les ponts ou viaducs du chemin Central.

Le pont sur l'Aar (fig. 96, 97 et 98), avec voie charretière audessous du chemin de fer, long de 164 mètres, a coûté 1,103,600 francs, desquels 22,400 fr. ont été dépensés pour les fondations, 212,000 fr. pour la maçonnerie, 724,600 fr. pour les treillis et autres parties en fer, et le reste pour le platelage du chemin, etc.

Le grand pont sur la Sitter (fig. 95), long de 160 mètres, et haut de 63 mètres, a coûté 909,640 fr., dont 34,669 fr. ont été dépensés pour les fondations, 149,811 fr. pour la maçonnerie, 261,285 fr. pour le treillis, et 408,775 fr. pour les piliers métalliques.

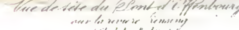
Lorsque le chemin est à deux voies et qu'on le fait passer sur un pont tubulaire ou à treillis, chacune des deux voies peut être supportée par un pont distinct, ou bien être réunie à l'autre par un



Gravé par Guiguet Fils

Vue latérale du pont d'Offenbourg
sur la rivière Kinzig.
(Ch. de Fer Badois)

Pag. 538



Vue de tête du Pont d'Offenbourg
sur la rivière Kinzig
(Ch. de fer Badois)

Pag. 438



Fig. 93. — Pont de la Thur.



Fig. 94. — Pont de la Glatt.



Fig. 95. — Pont de la Sitter.



Fig. 96. — Pont de l'Aar.

seul et même pont. M. Couche donne, avec raison, la préférence au premier système.

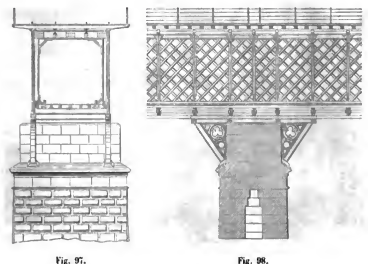


Fig. 97. Fig. 98.

« L'indépendance des deux voies paraît être, dit cet habile ingénieur après avoir discuté les avantages et les inconvénients des deux systèmes, la combinaison qui offre le plus de garanties, parce que tous les efforts s'y développent symétriquement, que tout le système travaille, pour ainsi dire, carrément. » Quelquefois cependant on a rendu les voies dépendantes par raison d'économie. M. Couche se prononce également pour la continuité des travées dans le cas des ponts à grande portée et préfère l'indépendance pour des ouvertures médiocres.

Ponts en fer et fonte. — Quelques ingénieurs anglais ont admis, jusque dans ces derniers temps, l'emploi simultané de la fonte et du fer dans la construction des ponts, mais en limitant la fonte aux parties de ces ouvrages chargées de résister exclusivement à la compression à des flexions transversales modérées. Nous pourrions citer dans ce système le pont de Newark, sur le chemin de fer de Great-Northern (fig. 99), d'une longueur de poutres de 259 pieds (78m,94). Les parties foncées de la gravure font distinguer les

pièces en fonte qui sont employées dans la construction et assemblées avec les parties en fer forgé.

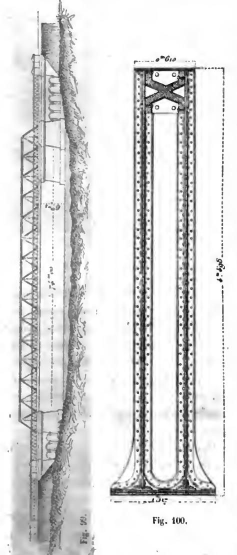


Fig. 99.

Fig. 100.

Nous pourrions donner encore l'exemple du pont de la Mersey, de 52 mètres d'ouverture, formé de trois poutres composées chacune d'un arc supérieur en fonte à section en forme de X, relié avec une plate-bande inférieure en feuilles de tôle rivées, sur une double paroi verticale en tôle mince maintenue rigide par des contre-forts et des nervures également en tôle (fig. 100).

Nous donnons ici une travée du beau viaduc de Crumlin, construit dans le même système, et supporté par deux piles composées de colonnettes de fonte reliées entre elles horizontalement par des châssis en fonte, et verticalement par des croix de Saint-André en fer de faible épaisseur; ce viaduc a 498 mètres de longueur entre les culées (figure 101).

Ponts suspendus. — Il nous reste à dire quelques mots des ponts suspendus construits aux États-Unis. La des-

cription suivante du beau pont de la Harper, sur le chemin de Baltimore à l'Ohio, est empruntée à un manuscrit inédit de M. Grenier.

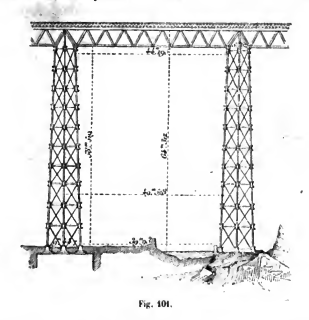


Fig. 101.

Ce pont, établi pour une voie, est composé d'un tablier en bois suspendu à deux fermes en fer et fonte dont les extrémités reposent sur de légers supports en maçonnerie.

La poutre en fonte est creuse, sa figure extérieure est octogonale ; elle est formée de huit parties de chacune $4^m,73$ de longueur assemblées à manchon ; les surfaces de contact sont légèrement arrondies de manière que les flexions du système ne produisent pas d'efforts obliques sur la poutre. Chaque joint repose sur le chapiteau d'une colonnette en fonte dont le pied est relié par deux tirants en fer aux extrémités de la poutre, et supporte, au moyen de boulons de suspension, les poutres en bois ou pièces de pont (figure 102).

Par cette disposition, le poids du tablier et des surcharges accidentelles, agissant à chaque colonnette, est reporté par les tirants en fer sur les deux points d'appui. Les pressions horizontales résul-

tant de l'inclinaison de ces tirants se font équilibre par l'intermédiaire de la poutre en fonte, qui n'est soumise qu'à des efforts de compression. La ferme est complétée par des croix de Saint-André

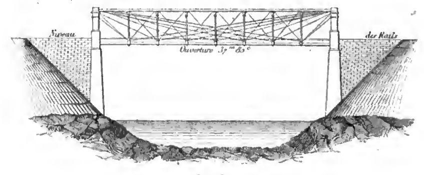


Fig. 103.

très-légères en fer forgé reliant les extrémités des colonnettes, et qui servent de pièces auxiliaires en cas de rupture d'une ou plusieurs tringles principales.

Les poutres en fonte des deux fermes sont reliées dans le plan horizontal par un système de croix de Saint-André en fer et de pièces d'écartement en fonte correspondant aux colonnettes. L'ensemble du pont a ainsi la figure d'un tube rectangulaire formé d'un réseau de barres de fer et de fonte.

Dans la combinaison des pièces en fer forgé et en fonte qui constituent les fermes du pont sur la Harper, le fer est soumis à des efforts d'extension et la fonte à des efforts de compression ; les deux métaux sont donc employés dans les conditions qui permettent d'utiliser le mieux possible leurs propriétés. La résistance à la flexion des parties constitutives du système n'entrant pas en jeu, toutes les fibres travaillent également, pourvu que la section des barres soit proportionnée aux forces qui agissent suivant leur axe. La différence entre l'élasticité des deux métaux ne peut être présentée comme une objection à leur combinaison, puisque tous les assemblages sont articulés.

Ce système, qui présente la légèreté des ponts suspendus, a sur ceux-ci l'avantage que toutes ses parties peuvent être visitées et ga-

ranties facilement de l'oxydation, et que sa rigidité met un obstacle à l'amplitude des vibrations.

Il y a lieu d'observer en outre que les efforts de tension sont répartis sur un grand nombre de pièces indépendantes, et que la rupture d'une des barres ne saurait avoir de conséquences graves.

Le pont sur la Harper a 37^m,82 d'ouverture; sa hauteur, mesurée entre les boulons d'assemblage des tirants, est de 5^m,20.

Le poids agissant sur chaque ferme est évalué comme suit :

Poids du fer et de la fonte.	10,982^k,08
— de la charpente.	6,801^k,30
— de la surcharge.	73,429^k,28
— représentant les forces vives dues au choc.	11,335^k,50
TOTAL.	102,548^k,16

Sous ce poids, l'effort supporté par les tirants en fer est de 7,254^k,72 par pouce carré, leur résistance absolue étant de 36,275^k,60, ce qui correspond à 11^k,25 par millimètre carré.

Ce pont, depuis sa construction, a été exposé aux températures les plus extrêmes et à un passage journalier de vingt trains en moyenne. Dans les conditions les plus défavorables de température et de charge, la flèche n'a pas dépassé 16 millimètres environ.

Procédé de fondation tubulaire. — De nouveaux procédés ont été employés depuis quelques années pour la fondation des piles des grands ponts. Comme ces procédés ont été plus particulièrement appliqués sur les chemins de fer, nous terminerons ce chapitre sur les travaux de terrassements et les travaux d'art en en donnant une description sommaire. Nous empruntons une partie de cette description à l'intéressant mémoire publié dans le *Compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils*, par M. Charles Nepveu (juillet, août et septembre 1855).

Fondation avec pieux à vis. — MM. Brunel, Cubitt et Stephenson se sont servis avec avantage dans les fondations d'un grand nombre de ponts ou viaducs de *pieux à vis;* dans tous les cas, leur

emploi s'est montré sûr, rapide et facile. L'enfoncement de ces pieux, munis à la partie inférieure d'un pas de vis, se produit en appuyant la pointe du pieu sur le sol, et en imprimant, à l'aide d'un cabestan, un mouvement de rotation à la tige. Le nouveau procédé a été appliqué avec succès à la fondation de plusieurs ponts ou viaducs sur le chemin de fer de l'Ouest.

Fondation avec pieux et palle-planches en fonte. — M. Page, dans le pont qu'il a construit sur la Tamise, à Chelséa, a remplacé les pieux et palle-planches en bois par des pieux et palle-planches en fonte. Ces fondations, qui présentent un haut degré de stabilité, seraient, dit M. Nepveu, en France, d'un prix très-élevé, et demandent, en outre, un temps assez considérable pour leur construction.

Fondation à l'aide du vide. — Tels étaient les progrès faits dans le système des pieux battus et des cofferdams, lorsqu'une idée nouvelle et féconde vint en changer la direction.

M. le docteur Pott's eut l'idée d'agir, non plus sur le pilotis, mais sur le sol, et il se servit pour cela du vide.

Un pieu creux en fonte ou en tôle, ouvert par le bas, est fermé à sa partie supérieure par un couvercle luté avec soin, et communiquant avec une pompe pneumatique; il est en partie enfoncé dans le sol baigné par l'eau, et qui peut être de la vase, du sable et même de l'argile. Si l'on manœuvre la pompe à air, dès que la pression aura suffisamment diminué dans l'intérieur du tube, l'eau extérieure ainsi que le sol lui-même, en vertu de la pression atmosphérique, tendront à s'y précipiter; le courant d'eau qui se fera à la partie inférieure sapera le terrain sous le pieu, en rompant les arches naturelles que les parties solides forment entre elles, et le pieu descendra par son propre poids, augmenté de la pression de l'atmosphère sur son extrémité supérieure. Lorsque le tube sera plein, son contenu, composé d'eau et de parties solides, sera enlevé par un moyen quelconque, et on recommencera l'opération jusqu'à ce qu'on ait atteint la profondeur nécessaire.

Une des applications les plus intéressantes de ce système est celle qui en fut faite aux fondations d'un viaduc dans l'île d'Anglesey, sur

le chemin de Chester à Holyhead. Une des piles de ce viaduc fut établie sur une plate-forme en fonte supportée par dix-neuf pilotis; chaque pilotis était un tube de fonte de 0m,037 d'épaisseur et de 0m,355 de diamètre extérieur.

Quand ce pieu était arrivé à sa profondeur, on le vidait d'environ 1m,80, et on le remplissait de béton.

Après le placement des dix-neuf pilotis, on établit le plateau en fonte, puis la maçonnerie.

Ces fondations, faites en 1847, n'ont pas bougé depuis, et on n'y a remarqué aucun tassement, quoique la charge supérieure fût de plus de 500 tonnes, en y comprenant le poids des trains.

Ce procédé n'est applicable que dans les terrains de vase, de sable, de gravier et d'argile.

Les figures 103 et 104 représentent le mode de fondation décrit ci-dessus, tel qu'il a été appliqué à un pont anglais.

Fondation à l'aide de l'air comprimé. — Au pont de Rochester, M. Hughes, qui dirigeait les travaux sous les ordres de M. Cubitt, se rappelant les bons résultats qu'avaient obtenus MM. Triger, Mougel et Cavé, par l'emploi de l'air comprimé, eut l'idée de donner au pilot le caractère d'une cloche à plongeur, en substituant l'air comprimé au vide.

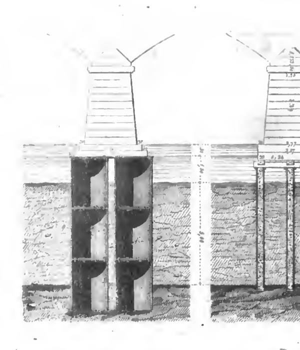
Le même procédé a été appliqué aux fondations du grand pont de Mâcon, sur la Saône.

Les appareils employés au pont de Rochester et au pont de Mâcon diffèrent peu quant à la disposition d'ensemble. Nous empruntons la description suivante de celui dont on s'est servi au pont de Rochester au mémoire de M. Nepveu.

A l'emplacement de la pile, on descend sur le fond de la rivière un cylindre en fonte de 1 à 3 mètres de diamètre[1], composé d'une série d'anneaux, et d'une hauteur plus ou moins grande, suivant la profondeur du terrain que l'on veut traverser.

Ce tube TT, ouvert à sa partie inférieure, est fermé à sa partie supérieure par un couvercle fixe C. — Dans ce couvercle se logent

[1] Ces cylindres ont 1 mètre au pont de Rochester, et 3 mètres au pont de la Saône.



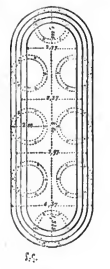


Fig. 105.

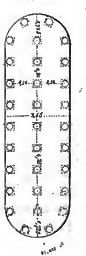


Fig. 104.

deux chambres à air en fonte BB' (fig. 105) destinées à servir d'intermédiaire entre l'intérieur du tube TT et l'extérieur.

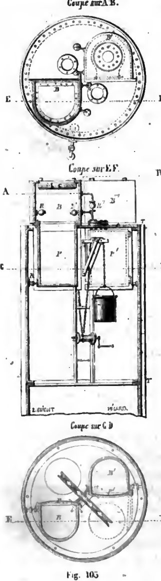


Fig. 105

Ces deux chambres, dont la section horizontale présente la forme d'un D, un peu espacées entre elles, se trouvent en plan des deux côtés de l'un des diamètres, de manière que leurs parois planes soient placées en sens inverse. La partie du tube qui n'est pas occupée par les chambres et qui est séparée du reste par un plancher percé de deux ouvertures circulaires est dite *chambre d'extraction*.

Chaque chambre à air est munie d'une ouverture fermée par une soupape S se manœuvrant sur un goud horizontal et tenue appliquée contre l'ouverture par la pression intérieure lorsque cette pression, comme nous le verrons plus loin, dépasse la pression extérieure. Une porte ordinaire P ou P', placée sur le côté plat de la chambre, la fait communiquer avec le cylindre et permet aux bras de deux grues, placées entre les chambres, d'y pénétrer pour y déposer les bennes.

Deux séries de robinets R et R', manœuvrables de l'in-

térieur ou de l'extérieur, servent à mettre en communication la chambre à air, d'une part, avec le cylindre, et, de l'autre, avec l'atmosphère, afin de faciliter le passage des matériaux et la circulation des hommes. Des échelles sont placées dans le tube T T, pour permettre la circulation des ouvriers.

Un système de contre-poids sert à équilibrer le tube TT quand il est rempli d'air comprimé, qui tend à le soulever.

Un système de charpente sert à le guider dans son mouvement descendant. L'opération a lieu de la manière suivante : on chasse de l'air comprimé dans le tube TT au moyen d'un conduit et d'une pompe à air. Les portes P et P' se ferment. La pression étant suffisante, l'eau qui s'élève dans le cylindre en est chassée soit en dessous quand le sol est assez perméable, soit par un siphon quand il est imperméable. Quand elle est chassée en dessous, il se produit un bouillonnement autour de la base qui soulève le sol et facilite la descente du tube.

Des ouvriers placés dans le tube TT creusent le sol et logent les déblais dans un panier. Le panier rempli, on établit la communication entre le tube TT et l'une des chambres à air. La porte P de communication étant ouverte, on monte le panier plein à l'aide de la corde et du treuil, puis l'on interrompt la communication entre le tube et la chambre à air ; on ferme la porte P et on met la chambre à air en communication avec l'atmosphère. La soupape S s'ouvre, et on enlève les déblais à l'extérieur. On continue de la même manière à creuser le sol dans l'intérieur du tube en augmentant la pression de l'air dans ce tube toutes les fois que cela est nécessaire.

Les ouvriers travaillent ainsi dans l'air comprimé. Ils se fatiguent beaucoup, et on a reconnu que lorsque la hauteur d'eau jointe à la hauteur de la fondation dans le sol dépassait 25 mètres, la compression devenait telle, que les ouvriers étaient incapables de résister.

On fait descendre verticalement le gros tube dans le sol en le chargeant convenablement. Dès qu'il a atteint la profondeur voulue (15 mètres au pont de Lyon), on coule au fond un lit de ciment romain, qui s'oppose à l'introduction de l'eau par le

bas, puis on achève de remplir ce tube avec du béton ordinaire.

Les piles au-dessus de l'eau sont renfermées dans des cylindres de $2^m,50$ seulement de diamètre, raccordés avec le tube inférieur par une partie cylindro-conique. Chaque pile aux ponts de la Saône repose sur trois cylindres juxtaposés, reliés entre eux par des entretoises. La dépense a été de quatre-vingt-sept mille francs environ par pile.

Au pont de Rochester, les tubes, n'ayant qu'un mètre de diamètre, sont au nombre de huit pour chaque pile, comme l'indique la figure 103.

Au pont de Mâcon (fig. 106 et 107), les tubes, ayant 3 mètres de diamètre, sont au nombre de trois seulement. Ils sont reliés les uns aux autres par des panneaux en fonte.

Au pont de Rochester, les piles sont en pierre ; au pont de Mâcon, elles sont en fonte. Les piles en fonte du pont de Mâcon sont remplies de béton comme les tubes de fondation et protégées contre le choc par une enveloppe de béton enfermée dans des palpanches sur lesquelles s'appuient des enrochements. Au pont de Rochester, les piles ne sont pas protégées.

Le système des fondations tubulaires a aussi été employé en Egypte (pont de Benha sur le Nil, pour le chemin de fer d'Alexandrie au Caire).

La pile unique du grand pont de Saltash sur un bras de mer près de Plymouth, a été également fondée au moyen de l'air comprimé; mais le travail a été exécuté dans des conditions tout à fait exceptionnelles.

Il s'agissait d'établir cette pile sur un fond de rocher à $25^m,00$ au-dessous du niveau de la haute mer de vive eau. Le rocher était recouvert d'une épaisseur d'environ $5^m,20$ de vase.

L'attaque du rocher était très-difficile, et il eût été impossible d'en effectuer le déblai à raison de la profondeur d'eau à traverser.

M. Brunel se décida à construire un cylindre en tôle de $26^m,85$ de hauteur moyenne, capable de dépasser de $1^m,85$ le niveau des plus hautes eaux, après son échouage sur le fond du rocher.

Mais une nouvelle difficulté se présentait : le rocher avait une in-

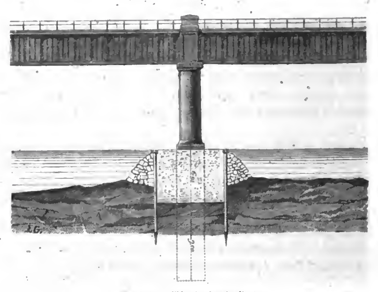


Fig. 106. — Élévation longitudinale.

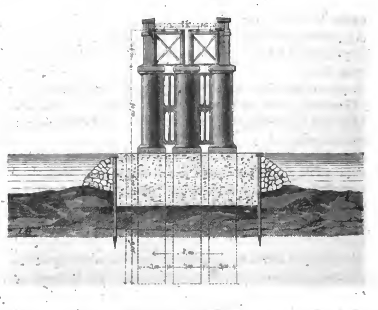


Fig. 107. — Coupe transversale.

clinaison générale qui exigeait que la base du cylindre fût taillée suivant cette inclinaison pour reposer du premier coup, le plus exactement possible, sur la surface du roc : c'est ce qui fut exécuté.

Ce cylindre avait des dimensions telles, qu'il devait comprendre à l'intérieur la totalité de la maçonnerie formant la base de la partie de la pile qui surgissait au-dessus du niveau de l'eau, et qui, à partir de ce niveau, devait se composer de 4 colonnes en fonte destinées à porter les extrémités de chacune des deux grandes travées du pont de 138^{m},68 de longueur chacune. Le problème consistait donc à échouer le cylindre, à le lier solidement au roc de manière à isoler complétement sa capacité, à le vider ensuite et à maçonner à l'intérieur du cylindre comme à l'intérieur d'un batardeau.

Le cylindre ayant 10^{m},66 de diamètre à sa base, il était impossible de songer à y entretenir, au moyen des appareils pneumatiques ordinaires, le volume d'air que nécessitait l'emploi d'un certain nombre d'ouvriers travaillant sous une hauteur d'eau de 25^{m},00, c'est-à-dire sous une pression de 2 à 3 atmosphères. Il fallait évidemment, pour assurer l'effet des appareils, réduire le plus possible la capacité à livrer aux travailleurs. C'est dans ce but que M. Brunel avait composé son cylindre de deux parties : celle du fond, munie d'une calotte sphérique constituant une première capacité dans laquelle on devait exercer la pression, et celle supérieure, qui pouvait être enlevée une fois le travail de maçonnerie achevé jusqu'au-dessus des plus hautes eaux. Dans le pourtour de la partie inférieure régnait une cloison intérieure concentrique avec la paroi extérieure, formant chambre annulaire à compartiments, mise en communication avec l'extérieur au moyen d'un tube dit pneumatique, lequel était enfermé dans un autre de plus grand diamètre.

Le tube pneumatique était destiné à comprimer de l'air dans la partie annulaire où les ouvriers travaillaient sous une pression de 2 à 3 atmosphères, afin de faire équilibre à la pression de l'eau environnante. Le tube le plus grand servait aux épuisements. Lorsque la vase était enlevée au moyen de cette espèce de cloche à

plongeur, et que le rocher sur lequel on s'établissait était dérasé dans le pourtour du cylindre, on maçonnait dans le fond et sur les bords de façon à empêcher la pénétration de l'eau. Cette opération une fois faite, on devait enlever la calotte sphérique et le tube pneumatique, puis travailler presque à sec dans le cylindre, comme dans un batardeau.

Dans le cas où des infiltrations se seraient produites, on pensait que des épuisements ordinaires auraient suffi pour maintenir les eaux; malheureusement la capacité du milieu, une fois la maçonnerie de l'anneau établie, fut loin d'être étanchée; les pompes, mues par des machines locomobiles établies sur le cylindre, étaient impuissantes à enlever l'eau qui s'introduisait par les crevasses de la roche sur laquelle on était établi; il fallut recourir, pour la partie centrale de la pile, au même procédé que pour la partie annulaire, c'est-à-dire à l'air comprimé.

Ponts tournants. — Il faut éviter, autant que possible, sur les chemins de fer, les ponts tournants (fig. 108), qui sont une cause

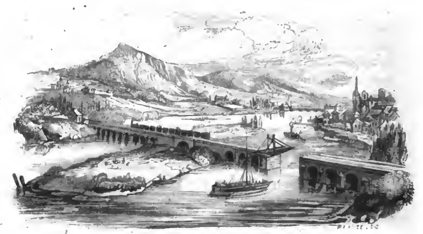


Fig. 108.

d'accident. Toutefois on en rencontre en assez grand nombre sur les chemins de fer belges, et quelques-uns en Angleterre et en France.

Souterrains. — Les souterrains sur les chemins de fer sont nombreux. Les plus remarquables sont le souterrain de la Nerthe, sur le chemin d'Avignon à Marseille, long de 4,600 mètres; celui de Blaisy, sur le chemin de Lyon, mesurant 4,000 mètres; celui du Credo, au chemin de Lyon à Genève, long de 3,900 mètres; celui de Rilly, sur l'embranchement de Reims, d'une longueur de 3,500 mètres; celui de Hommarting, sur le chemin de Strasbourg, ayant 2,780 mètres, et enfin celui du Hauenstein, au chemin de fer Central (Suisse), long de 2,500 mètres.

Sur le chemin de Roanne à Tarare, tronçon du chemin de Lyon par le Nivernais, récemment concédé, on sera obligé de percer un souterrain plus long encore que celui de la Nerthe : il aura 6,000 mètres de longueur.

Les méthodes qui ont été suivies pour le percement de ces souterrains sont celles usitées depuis longtemps. Nous n'avons donc pas à les décrire; mais l'on vient d'entreprendre le percement du mont Cenis par un procédé nouveau, qui a été décrit dans le journal la *Presse* par l'habile et savant rédacteur M. Figuier. Nous le décrirons aussi, mais à la fin du second volume seulement, dans le chapitre spécial consacré à l'exposition des nouvelles méthodes. Les appareils du mont Cenis ayant alors fonctionné pendant un certain temps, on se fera de leur efficacité une idée plus juste qu'on ne le pourrait aujourd'hui.

Construction de la chaussée. — Après avoir, au moyen des travaux de terrassement et des travaux d'art, adouci convenablement la pente du terrain sur la ligne que doit suivre le chemin de fer, il convient de ne pas poser encore la voie au fond des tranchées ou sur la crête des remblais et même sur les ponts en maçonnerie. Le sol généralement terreux des tranchées ou des remblais, se convertissant en une boue épaisse, cesserait d'offrir une base suffisamment solide, et la voie ne tarderait pas à se déranger de telle façon, qu'il deviendrait impossible de la parcourir à grande vitesse.

La maçonnerie étant, au contraire, trop rigide, le passage des ponts deviendrait fatigant en même temps pour le voyageur et pour le matériel si elle se trouvait en contact immédiat avec la voie.

Il est donc absolument nécessaire d'interposer entre le terrain naturel ou les assises de maçonnerie et la voie en fer une chaussée artificielle, perméable à l'eau, qui soit moins susceptible que le sol naturel de se déformer et moins rigide que la maçonnerie.

On appelle *ballast* la matière dont se compose cette chaussée ; le sable est le ballast le plus généralement employé.

Dans les tranchées, la chaussée est toujours bordée des deux côtés par des fossés dans lesquels se réunissent les eaux qui coulent le long des talus et celles qui proviennent de la chaussée elle-même.

Il est essentiel que la chaussée qui porte la voie en fer soit toujours aussi sèche que possible. Il ne faut donc négliger aucun moyen de donner écoulement aux eaux qui pourraient la détruire.

La capacité des fossés doit être proportionnée à la plus grande quantité d'eau que peuvent y amener les pluies les plus abondantes, et leur profondeur doit être au moins aussi grande que l'épaisseur de la chaussée.

Les longues tranchées sont souvent difficiles à dégorger ; sur le chemin de Versailles (rive gauche), on vide les fossés de la grande tranchée de Clamart au moyen de *puits absorbants* creusés de 500 mètres en 500 mètres. Ces puits doivent atteindre une couche *absorbante*, c'est-à-dire une couche qui retienne toutes les eaux qu'on y jette. Ce n'est que dans un petit nombre de terrains, d'une composition analogue à celle des terrains des environs de Paris, que l'on trouve de pareilles couches.

Avant d'établir la chaussée au fond des tranchées, on donne au sol une légère inclinaison partant de l'axe du chemin vers l'emplacement des fossés ; sur les remblais, dont le tassement est toujours plus fort vers les bords que sur l'axe, cette opération n'est pas nécessaire.

Le sol étant ainsi préparé, on étend une première couche de ballast sur une épaisseur de 25 à 30 centimètres ; on la pilonne avec des espèces de dames de paveur. Le transport de ce ballast se fait en général dans des waggons de terrassement versant de côté

(voy. page 363), et traînés par des chevaux sur une voie de fer provisoire posée *directement* sur le sol à l'emplacement de l'une des voies définitives. Cette première couche de ballast servant de fondation à l'une des voies définitives, la pose peut en être immédiatement commencée.

Cette voie définitive est employée au transport ultérieur du ballast, et l'on peut activer ce transport, qui se fait dans des waggons d'ensablement (voy. page 367) au moyen de machines locomotives.

Que l'on se serve de dés, de traverses ou de longuerines comme moyen de fondation pour la voie de fer, il est très-important que ces supports reposent par une large base sur la couche de sable et la touchent par tous leurs points. Nous nous écarterions de notre but si, dans cet ouvrage élémentaire, nous entrions dans les détails des précautions à prendre pour remplir cette condition. On les trouvera, si on désire se livrer à une étude approfondie du sujet, dans le *Portefeuille de l'ingénieur.*

Les supports de la voie placés et bien assis sur leur base, on remplit encore avec du sable bien pilonné l'espace qu'ils laissent entre eux, de manière à les envelopper parfaitement, précaution nécessaire pour les maintenir dans leur position et pour préserver les bois de la pourriture. La chaussée est alors complétée. *Un bon ensablement de la voie est une condition de durée pour le chemin et de sécurité pour les voyageurs.*

Sur une voie mal ou médiocrement ensablée, non-seulement les traverses se détruisent rapidement ou se déplacent facilement, mais on est exposé aux plus graves accidents lorsque les machines sortent de la voie.

Dans les tranchées, le ballast est quelquefois soutenu le long des fossés par de petits murs en *pierre sèche* (figure 109), c'est-à-dire par des murs en pierres simplement juxtaposées sans interposition de mortier et perméables à l'eau. D'autres fois, c'est le talus naturel de la couche de sable elle-même qui borde le fossé.

En Suisse, en Bavière (chemin du Palatinat) et dans le duché de Bade, le chemin n'est pas composé exclusivement de ballast. Des

massifs en terre ont été ménagés, comme l'indique la figure 110, le long des fossés (chemin Suisse) et même au milieu (chemins Bavarois et Badois) (fig. 111), afin d'économiser le ballast. Ces massifs sont traversés de distance en distance par des saignées servant à assainir les cuvettes.

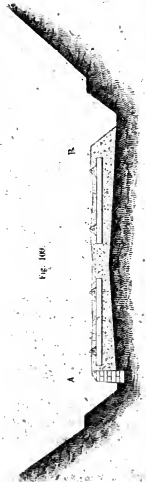


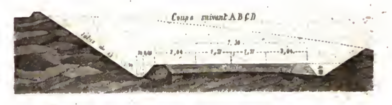
Fig. 109.

On avait adopté une disposition semblable sur les premiers chemins de fer construits en France, mais l'on na pas tardé à reconnaître qu'en introduisant les pinces sous les traverses pour les relever, on attaquait souvent les massifs et provoquait ainsi le mélange de la terre et du ballast. L'entretien des saignées est d'ailleurs fort coûteux, et elles sont sujettes à s'engorger.

Sur le remblai, les fossés sont supprimés, et les talus de la couche de sable font suite à ceux du remblai ; l'eau s'écoule de part et d'autre ou pénètre dans l'intérieur. Mais les grands remblais tassant toujours plus ou moins, on conserve, lors de la construction, deux petites banquettes sur la crête du remblai. A mesure que le tassement a lieu, on relève la voie en rapportant de nouvelles épaisseurs de ballast sous les supports ; et, comme la crête de ce ballast doit conserver toujours la même largeur, sa base s'étend et ses talus finissent par se raccorder avec ceux du remblai.

Sur des terrains très-mous, délayés par des courants d'eau, ou sur des terrains marécageux, il serait impossible, sans de certaines précautions, d'établir une voie durable.

Sur le chemin de Wissembourg, la chaussée reposant en tran-



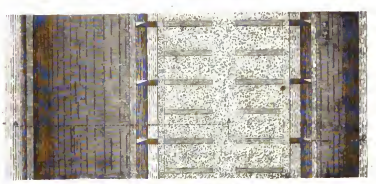


Fig. 110. — Chemin Suisse.

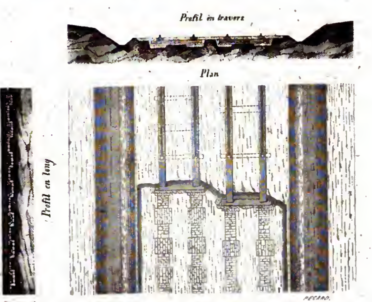


Fig. 111. — Chemin Badois

chée sur un terrain argileux, on a desséché la plate-forme en creusant sous la chaussée, comme l'indique la figure 112, des rigoles de de 15 à 20 centimètres de profondeur que l'on remplit de gravier d'abord sur 12 à 15 centimètres de profondeur, puis de mousse. Le fond de ces rigoles longitudinales est incliné vers des rigoles transversales traversant la plate-forme d'un fossé à l'autre, de telle façon que les eaux sont inévitablement conduites par ces rigoles dans les fossés.

Dans une autre tranchée où la plate-forme était établie sur un terrain compact, argileux, on a creusé des rigoles longitudinales d'une faible profondeur au bord de la chaussée (fig. 113). On a posé au fond de ces rigoles des tuyaux de drainage que l'on a recouverts de pierraille, puis, de distance en distance, on a dégorgé ces tuyaux dans des tuyaux transversaux.

Le terrain étant humide sur une grande épaisseur, on a donné à la rigole une profondeur de 80 centimètres, en sorte qu'elle descendait au-dessous du fossé. On a posé au fond des tuyaux de drainage inclinés vers les extrémités, on les a recouverts de paille d'abord, puis d'un mélange de ballast et de glaise, et on a dégorgé les tuyaux par leurs extrémités ou latéralement.

Dans ce dernier cas, le dégorgement, devenant difficile et ne pouvant s'effectuer souvent qu'à d'assez grandes distances, devenait très-dispendieux.

Sur les remblais argileux du chemin de Wissembourg, on a, pour dessécher la plate-forme, creusé des rigoles transversales de 1 à 2 mètres de profondeur que l'on a espacées de 5 à 12 mètres, suivant que le remblai était plus ou moins aquifère.

On plaçait au fond de ces saignées deux petites fascines remplies de gravier à côté l'une de l'autre, une troisième fascine au-dessus, puis on recouvrait le tout de terre.

Au chemin de Versailles (rive gauche), comme le terrain, au fond d'une tranchée, était tellement mou, qu'il ne pouvait porter les objets même les plus légers, on a, pour établir la chaussée, commencé par enfoncer des files parallèles de planches jointives (palplanches) des deux côtés de l'emplacement de chacun des fossés. On a vidé les terres jusqu'à une certaine profondeur entre les plan-

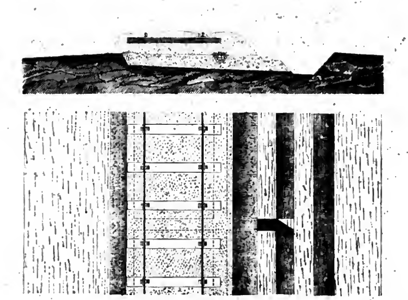


Fig. 112.

Fig. 113.

ches qui soutenaient les parois de la fouille, et on a construit dans cette excavation des murs en pierre sèche. Il s'est trouvé alors entre les fossés une couche de terre dont l'épaisseur était égale à leur profondeur, desséchée par le fait seul de leur creusement. On a extrait cette couche sur la plus grande partie de son épaisseur, on a étendu au fond de cette excavation une couche de pierres d'un certain volume, faisant autant que possible corps les unes avec les autres; et enfin, sur cette couche, on a construit la chaussée et posé la voie.

Les terrains marécageux sont, ou de faible profondeur et faciles alors à dessécher, ou de grande profondeur, et tels qu'on ne puisse en détourner aisément les eaux.

Si le terrain est facile à dessécher, on retombe dans l'un des cas précédents.

S'il a peu de profondeur et que l'on ne juge pas facile ou convenable de le dessécher, on enfonce des pilotis dans le terrain solide sur lequel pose le terrain marécageux; on réunit les têtes de ces pilotis par des *longuerines;* on pose des *traversines*, et sur ces traversines un nouveau cours de longuerines qui porte les rails. C'est ainsi que l'on a établi le chemin dans certains marais de la Caroline du Sud, aux États-Unis, et à Pontypool, dans le pays de Galles. On peut encore, dans ce cas, combler avec des déblais solides la partie du marais qu'on veut traverser.

Le marais est-il profond, comme celui de Chatmoss, sur le chemin de Liverpool à Manchester, il faut recourir à un autre expédient. On établit alors la chaussée sur un lit de fascines d'une grande largeur; de cette manière, on divise sur une très-grande surface le poids de la chaussée et celui des convois qui la parcourent, et le chemin flotte, pour ainsi dire, sur le marais comme un radeau sur une rivière.

Les paragraphes suivants sont extraits des instructions données, le 8 novembre 1856, par le ministre du commerce et des travaux publics de Bavière pour la construction et l'entretien des chemins de fer de l'État, instruction dont la traduction a été publiée dans le journal l'*Ingénieur* par M. Müntz [1].

[1] Nous croyons utile de rappeler que ces instructions sont le fruit d'une longue

« Une couche de ballast de 0^m,60 s'est montrée insuffisante pour les tranchées humides et à fonds imperméables, et il convient de les porter à 0^m,88 en contre-bas de la surface supérieure des traverses. Sur les remblais imperméables elle devrait être de 0^m,75. Cette épaisseur peut être diminuée au fur et à mesure que la perméabilité du fond augmente; toutefois, elle ne doit pas être inférieure à 0^m,60 dans les tranchées, et à 0^m,45 sur les remblais.

« Une couche de 0^m,45 a été reconnue insuffisante dans une station dont le sol n'a pu être asséché que d'une manière imparfaite.

« Une largeur de couche de ballast dépassant de 0^m,15 la surface extérieure des dés en pierre a été reconnue suffisante; tandis que, pour une voie posée sur traverses, la largeur de la couche de ballast doit dépasser de 0^m,30 les abouts de celles-ci.

« L'assèchement prompt et complet du ballast est de la plus haute importance; on l'obtient de la manière la plus parfaite en étendant la couche de ballast sur toute la longueur de la plate-forme. Un moyen également bon, mais bien moins efficace, consiste dans l'établissement de pierrées au travers de la plate-forme de la voie. Ces pierrées sont distantes de 3 à 4^m,50; elles ont 0^m,60 de largeur, et leur fond à pente rapide s'étend jusque sur le talus. Il convient d'établir de ces pierrées partout où elles n'existent pas en dimensions et en nombre suffisants.

« Quand le fond est humide ou rempli de sources, on fait bien de recourir aux tuyaux de drainage. On les place sur un fond en argile damé dans l'axe des voies, et à 0^m,90 en contre-bas de la plate-forme, en ayant soin de la couvrir d'une couche d'environ 0^m,60 de cendres de coke ou d'autres matières perméables avant de poser le ballast. Du drain principal on fait passer dans les fossés du chemin des drains secondaires, qu'on multiplie suivant le degré d'humidité du fond. Une plate-forme ondulée dans le sens de la longueur contribue beaucoup à l'écoulement des eaux de la surface, et, pour cette raison, on prolonge la cavité sous les traverses jusqu'à la rencontre des talus. »

expérience, puisque c'est en Bavière qu'ont été construits, par M. Denis, les premiers chemins de fer allemands à locomotives.

La solidité de la chaussée d'un chemin de fer, et, par suite, celle du chemin de fer lui-même, ne dépend pas seulement du plus ou du moins de soin apporté dans sa construction. Le choix des matériaux qui la composent exerce également la plus grande influence sur sa résistance et sa durée.

Nous indiquerons plus loin les conditions que doivent remplir ces matériaux.

CHAPITRE VII

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE

DESCRIPTION

Rails et accessoires. — En général, la voie des chemins de fer se compose de rails en fer, en bois et fer ou en fonte, fixés directement, ou par l'intermédiaire de pièces en fonte, sur des traverses en bois ou des dés en pierre.

Les traverses sont des pièces de bois posées perpendiculairement aux rails et qui supportent les rails (fig. 114). On les a employées sur les chemins établis déjà vers le milieu du dix-septième siècle près de Newcastle. Les dés sont des pierres de forme prismatique à base carrée, posées sous chacune des files de rails (fig. 115). On s'est servi de dés pour la première fois en 1797.

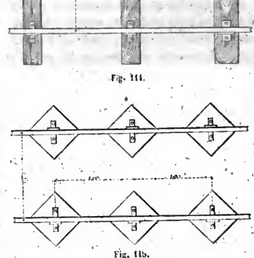


Fig. 114.

Fig. 115.

Les traverses doivent toujours être employées de préférence aux

dés sur les terrains de remblai, parce que le tassement de ces terrains, et, par suite, l'abaissement des rails étant inévitables, il est bien plus facile de relever une voie posée sur des traverses qu'une voie posée sur des dés. Sur le chemin de Montpellier à Cette, où l'on avait commis la faute de se servir de dés sur les remblais, force a été de les remplacer bientôt par des traverses.

Dans les tranchées, on pose les voies de fer tantôt sur dés, tantôt sur traverses. *L'usage des traverses est cependant aujourd'hui en France et en Angleterre presque général, même sur les terrains les plus résistants.* Les motifs de la préférence qui leur est accordée sont que les traverses relient les deux files de rails d'une même voie, de manière à en maintenir l'écartement et à en rendre le tassement moins inégal, qu'elles sont plus faciles à relever que les dés lorsque les voies s'abaissent, et enfin que, si elles sont en bois, elles jouissent d'une certaine élasticité qui rend le mouvement des voitures plus doux, circonstance qui est favorable à la conservation du matériel et diminue la fatigue des voyageurs.

Nous lisons toutefois ce qui suit dans l'instruction pour la construction des chemins de fer bavarois déjà citée :

« Les craintes qu'on avait autrefois que les dés en pierre ne nuisissent à la conservation du matériel roulant et des rails ne se sont trouvées nullement fondées pour un matériel roulant dont l'entretien a été reconnu identique sur les parties de voie posées sur dés en pierre ou sur traverses en bois. L'usure des rails, au contraire, a été reconnue plus grande sur les dés en pierre, aussi longtemps que les joints des rails se trouvaient réunis par des coussinets fixés sur des dés au moyen de chevilles en bois. Les coussinets de joints étant complétement abandonnés dans les constructions neuves et se trouvant même peu à peu remplacés par des éclisses à cornières dans les voies anciennes, rien ne s'oppose à l'emploi des dés en pierre pour supporter les joints. Dans l'intérêt de la conservation des rails, on n'a jamais craint d'employer les dés en pierre comme supports intermédiaires. Avec les éclisses à cornières on peut donc hardiment se servir de dés, même pour supports de joints, quel que soit le profil du rail, soit avec, soit sans coussinets.

« Quant à la nature des pierres employées pour dés, on a reconnu

une grande supériorité au granit; mais, pour économiser les frais de transport, on emploiera à l'avenir, et à titre d'essai, d'autres pierres dures, notamment on se servira du grès dans les vallées inférieures du Mein et de la Nagelflue dans l'Algaü.

« On renoncera à l'usage des dés en pierre dans l'intérieur des stations, sur les travaux d'art ayant au-dessus de la chape une couche de terre moindre de 0m,90, et dans les parties de voies qui sont mal asséchées. »

Sur des chemins en Allemagne autres que les chemins bavarois, on se sert également de dés en pierre, mais dans certains cas particuliers. Voici ce que nous lisons dans un des meilleurs ouvrages écrits en Allemagne sur la construction, celui de M. Becker, ingénieur et professeur à l'école polytechnique de Carlsruhe[1] :

« On conseille d'employer des dés en pierre sur les nouvelles lignes à construire, mais seulement dans le cas où la chaussée repose sur le terrain solide.

« On ne doit employer des dés sur les remblais que lorsque ces remblais sont faits depuis cinq ans au moins.

« Dans les courbes d'un rayon inférieur à 800 mètres les dés en pierres doivent, aux joints et au moins une fois au milieu de la longueur des rails, être réunis par des traverses, de façon que la largeur de la voie ne puisse être altérée. Cette liaison des deux files de rails cesse d'être nécessaire dans les courbes de plus grand diamètre et dans les parties rectilignes, pourvu que les dés aient l'inclinaison de la voie et soient maintenus latéralement par un lit de ballast convenablement bourré.

« Il faut toujours interposer entre la voie proprement dite et les dés en pierre une substance élastique.

« Le lit de ballast sous les dés en pierre, aussi bien que sous les traverses en bois, doit avoir de 20 à 25 centimètres d'épaisseur au moins. »

En Bavière, on a essayé différents corps élastiques comme intermédiaires entre les coussinets et les dés. Le feutre goudronné, pri-

[1] Der Strassen und Eisenbahnbau in seinem ganzen Umfange und mit besonderer Rücksicht auf die neuesten Constructionen, von M. Becker. Stuttgart, 1855.

mitivement employé, a été reconnu trop destructible, surtout depuis qu'il a été livré à bon marché. Des planchettes de moins de 10 millimètres d'épaisseur ne conviennent pas, quelle que soit la nature du bois. A cette épaisseur, le hêtre blanc seul a résisté, et encore fallait-il que les planchettes fussent fabriquées en bois parfaitement sain et sec, droit de fil et sans nœuds et à fibres serrées, et garanti de la pourriture par une préparation quelconque.

On a employé, à titre d'essai, des cartons serrés ayant 11 à 12 millimètres d'épaisseur; ces cartons ont été goudronnés avant l'emploi, et plusieurs couches de goudron ont été appliquées sur les bords dans le courant de l'année. Cette expérience fait espérer un succès complet.

Quoi qu'il en soit de l'opinion répandue en Allemagne sur l'emploi des dés dans la construction de nouvelles lignes, les avantages des traverses nous semblent tels, qu'il nous paraît prudent d'attendre le résultat des expériences commencées dans ce pays avant de les substituer aux traverses, même sur un terrain solide.

Nous pensons aussi que, lors même que l'instruction pour les chemins bavarois n'exclut pas l'emploi des dés sur les terrains fraîchement remblayés, cette interdiction doit être absolue.

On objecte à l'emploi des traverses en bois la nécessité où l'on se trouve de les renouveler fréquemment. C'est ce qui a conduit, comme nous le verrons plus loin, à essayer différents moyens dans le but d'en augmenter la durée, ou à leur substituer, sur quelques chemins, des traverses en fer.

Nature du bois pour traverses. — En France et en Belgique, les traverses sont, pour la plupart, en chêne, parce que ce bois est celui qui, sans être préparé, se conserve le mieux, et que, d'ailleurs, il est, dans ces deux pays, assez abondant. Depuis quelques années on fait un grand usage, en France, de hêtre ou de pin préparé.

En Belgique, en Allemagne et en Angleterre, on s'est servi de sapin; mais, si ce bois n'est pas très-résineux, il doit être préparé. En Angleterre, où le chêne est rare, presque toutes les traverses sont en sapin préparé. En Suisse, on emploie le mélèze sans préparation.

Au Mexique, le chemin de l'isthme de Panama est posé sur des

traverses en bois de gaïac. On a reconnu que sous l'influence du climat des tropiques les autres essences de bois pourrissent rapidement.

Forme des traverses. — Tantôt les traverses sont en bois équarri ; tantôt à section triangulaire, obtenue en refendant par deux traits de scie diagonaux une pièce de bois équarrie ; tantôt en rondins fendus par le milieu à la scie et reposant sur le ballast par la surface plane. Dans ce dernier cas, elles portent sur le ballast par une de leurs arêtes (fig. 116).





Fig. 116.

Les traverses équarries sont préférables aux demi-rondes, parce qu'elles sont presque entièrement purgées d'aubier.

Les traverses triangulaires ont eu beaucoup de vogue en Angleterre il y a quelques années, mais on les a complétement abandonnées depuis, parce qu'elles manquent de stabilité.

Nature du métal pour les rails. — *Les rails, si ce n'est dans quelques mines d'Allemagne et sur certains railways aux États-Unis, où ils sont en bois, sont aujourd'hui tous en fonte, ou en fer, ou en bois et fer. La fonte, employée exclusivement jusqu'en 1815, est aujourd'hui complétement abandonnée sur les chemins à grande vitesse, et même sur la plupart des chemins à petite vitesse.*

Le principal défaut des rails en fonte est d'être fragiles; ceux en fer ont en outre l'avantage d'être fabriqués beaucoup plus longs (6 mètres au lieu de $1^{m},20$), ce qui diminue le nombre des joints, et, par conséquent, des secousses qui ont lieu au passage des joints.

Quoique la fonte soit moins chère que le fer, les rails en fonte, à résistance égale, sont plus coûteux que ceux en fer. En effet, la fonte destinée à la fabrication des rails étant de première qualité, tandis que le fer est de seconde qualité, les rails en fonte, à poids égal, coûtent presque aussi cher que ceux en fer ; mais, comme les rails en fer offrent, à dimensions égales, beaucoup plus de résistance que ceux en fonte, on les fait généralement plus légers, ce qui rend ces derniers plus dispendieux.

Le fer s'oxyde, dit-on, plus facilement que la fonte : d'où l'on concluait que les rails en fer devaient être rapidement détruits par la rouille. L'expérience a démontré que les craintes que l'on avait à cet égard n'étaient pas fondées. Les rails étant en place sur un chemin exploité, il paraît se produire des courants électriques qui en préviennent l'oxydation. Quelquefois les rails s'exfolient ; mais cela n'arrive que lorsqu'ils sont mal fabriqués, c'est-à-dire lorsque la soudure du paquet qui doit être transformé en rails est mal faite, ou lorsque ce paquet est mal composé [1].

On a aussi objecté l'usure rapide du fer par le frottement. Si les rails en fonte ont l'avantage sur ceux en fer sous ce rapport, ce n'est jamais que pour les premiers temps de leur mise en service. En effet, les rails en fonte sont toujours composés d'une croûte mince extérieure fort dure et d'un noyau plus tendre ; une fois la croûte usée, le rail est promptement détruit.

On a substitué les rails en fonte à ceux en bois et fer vers l'année 1780.

Les premiers chemins avec rails en fer furent établis, en 1810, dans les houillères de lord Carlisle en Cumberland, en même temps que d'autres avec rails en fonte. Après huit ans de service, les rails en fer étaient en meilleur état que les rails en fonte ; et, dès lors, le célèbre ingénieur Georges Stephenson émit l'opinion que les rails en fer étaient préférables à ceux en fonte. Toutefois, malgré l'autorité de Stephenson, les rails en fer laminé eurent pendant longtemps encore de nombreux adversaires.

Les rails à bande plate, encore employés dans quelques mines et usines, sont presque toujours en fonte. La figure 117 représente la section d'une voie posée avec ces rails. Quand l'usage en était encore général, leurs formes variaient à l'infini, et ils étaient fixés, tantôt sur longuerines, tantôt sur traverses, tantôt sur dés en pierre. On a commencé à leur substituer le rail à bandes saillantes dès l'année 1789.

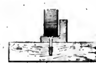


Fig. 117.

[1] Voir plus loin les indications données pour la composition des paquets.

Forme des rails. — Sur les chemins de fer temporaires établis pour l'usage des travaux de terrassement ou pour le transport des matériaux, on se sert fréquemment de simples barres de fer méplat posées de champ sur des traverses dans des encoches (fig. 118 et 119), et fixées au moyen de coins en bois.

Fig. 118.

Quand les véhicules sont lourds, ce rail, pour être assez résistant, deviendrait fort pesant ; d'ailleurs, il serait trop étroit et mettrait promptement hors d'usage les roues des waggons ; il fléchirait

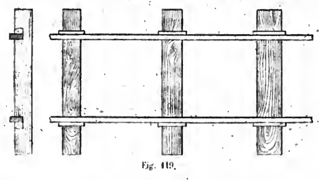


Fig. 119.

latéralement sous l'action des bourrelets des roues dans les courbes, ses joints se désaffleureraient trop facilement, et les rails, du côté extérieur de la courbe, se courberaient comme l'indique la fig. 120.

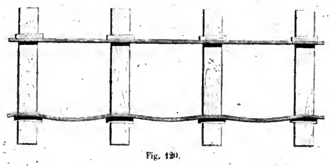


Fig. 120.

On a donc été conduit à élargir les rails en fer ou en fonte dans

leur partie supérieure, afin que les roues pussent reposer sur une plus grande surface, et à les fixer, comme nous allons l'indiquer, sur la traverse, par l'intermédiaire de la pièce en fonte nommée coussinet ou chair, de manière à rendre le mode d'assemblage avec les traverses plus parfait. Les rails de ce genre s'appellent *rails à champignons*.

Rails à champignons. — Les premiers rails à champignon, employés sur les chemins de Saint-Étienne à Lyon et de Roanne à Andrezieux, avaient la forme de la figure 121. Le coussinet se composait d'une semelle reposant sur la traverse et de deux saillies S et S' venues de fonte sur cette semelle (fig. 122). Le bourrelet placé au bas du rail se logeait dans une cavité semi-circulaire ménagée dans la saillie la moins élevée, et le rail, s'appuyant sur cette saillie, était maintenu par un coin en bois C remplissant l'espace qui le séparait de l'autre saillie. Le coussinet était fixé à la traverse par des chevilles en fer.

Fig. 121.

La petite saillie du coussinet était à l'intérieur de la voie, le bourrelet des roues frottait, dans les courbes, contre la face latérale du

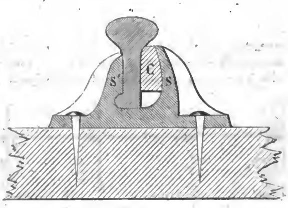
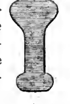
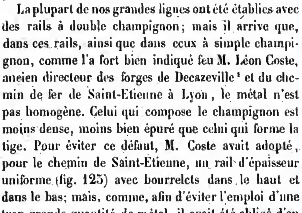


Fig. 122.

champignon la plus voisine de cette saillie, et, cette face usée, il n'était pas possible de retourner le rail bout pour bout afin de la remplacer par la face extérieure. C'est ce qui a déterminé à ajouter un

second bourrelet symétriquement au premier, de manière à obtenir le rail représenté figure 123. Enfin, on a fait des rails (fig. 124) dans lesquels les bourrelets sont remplacés par un champignon absolument semblable au champignon déjà existant. Ces derniers rails peuvent non-seulement se retourner bout pour bout, ils peuvent encore se retourner sens dessus dessous. On a ainsi la faculté de substituer le champignon inférieur au champignon supérieur usé ou fatigué.


Fig. 123.



La plupart de nos grandes lignes ont été établies avec des rails à double champignon; mais il arrive que, dans ces rails, ainsi que dans ceux à simple champignon, comme l'a fort bien indiqué feu M. Léon Coste, ancien directeur des forges de Decazeville[1] et du chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon, le métal n'est pas homogène. Celui qui compose le champignon est moins dense, moins bien épuré que celui qui forme la tige. Pour éviter ce défaut, M. Coste avait adopté, pour le chemin de Saint-Etienne, un rail d'épaisseur uniforme (fig. 125) avec bourrelets dans le haut et dans le bas; mais, comme, afin d'éviter l'emploi d'une trop grande quantité de métal, il avait été obligé d'en diminuer la hauteur, le rail se trouva trop flexible, et on revint au rail à champignon.


Fig. 124.


Fig. 125.

Sur le chemin de Versailles (rive gauche), on se servit de rails à simple champignon, du même poids que ceux à double champignon, reportant la quantité de métal enlevée aux extrémités du champignon inférieur, partie en dessous du champignon supérieur, partie le long de la tige (fig. 126). On obtint ainsi un rail de même hauteur que le rail à double champignon, du même poids, un peu plus flexible, mais encore suffisam-

[1] *Journal de l'Industriel et du Capitaliste*, année 1836. « Le fer, dans les rails à champignons, dit M. Coste, n'est bien comprimé que dans la partie mince du rail, mais il est refoulé dans toutes les parties arrondies et saillantes. Si on brise la barre, on remarque que la partie mince est d'un grain bien plus serré et bien plus homogène que le champignon, qui, souvent, laisse voir des portions creuses et mal soudées. »

ment rigide, dans lequel le champignon supérieur était mieux soutenu, et dont le métal, sans être entièrement homogène, était d'une qualité plus uniforme. Ce rail, à la vérité, ne pouvait pas se retourner sens dessus dessous; mais cet avantage est beaucoup moins grand qu'on ne serait porté à le supposer.


Fig. 126.

Remarquons, en effet, que lorsque, en retournant le rail, on fait prendre au champignon supérieur la place du champignon inférieur, ce champignon supérieur, déformé par le frottement, ne se loge qu'imparfaitement dans le coussinet, et que le champignon inférieur, substitué au supérieur, est déjà très-fatigué; car le rail ne s'altère pas seulement par le frottement : les barres de fer fléchissant entre les appuis au passage des convois et se redressant ensuite, le bas souffre autant que le haut de ce double mouvement. Aussi observe-t-on que les rails retournés au bout de quelques années durent fort peu de temps. Il a même été constaté par M. Grenier, ingénieur principal au chemin de Strasbourg, que les rails, après six et sept ans d'usage, ne pouvaient plus être retournés sans se rompre presque immédiatement.

Le ministre des travaux publics écrivait à la Compagnie, en mai 1857, ce qui suit : « Messieurs, les ruptures de rails sont l'une des causes les plus fréquentes des déraillements qui surviennent dans l'exploitation des chemins de fer, et ces ruptures elles-mêmes proviennent le plus souvent de l'état de vétusté de rails que l'on a retournés après l'usure ou l'exfoliation de l'un des champignons.

« Ces accidents réitérés ont amené à penser que l'opération du retournement des rails est de nature à compromettre la sûreté de la circulation des trains, et qu'il y aurait peut-être lieu de la proscrire. »

Nous ferons remarquer que les rails les plus vieux posés sur la ligne de Strasbourg n'ont cependant pas été employés pendant plus de dix ans.

Le ministre a du reste ordonné une enquête sur la durée des rails retournés; nous en ferons connaître le résultat à la fin du second volume, s'il y a lieu.

M. Bergeron, qui a été en même temps ingénieur en chef des deux

chemins de fer de Versailles, rive gauche et rive droite, construits la même année avec des rails du même poids, provenant de la même usine, les premiers à simple champignon et les seconds à double champignon, a constaté que ceux à simple champignon s'étaient beaucoup mieux comportés que les autres. Le mouvement a été, à dire vrai, un peu moins grand sur la rive gauche que sur la rive droite. Le fait signalé par M. Bergeron n'en est cependant pas moins très-remarquable.

Les rails devant être introduits, quand on les renouvelle pour l'entretien de la voie, dans le coussinet de haut en bas, et non latéralement, ceux à simple champignon ont encore le mérite de permettre l'emploi de coussinets moins larges et par conséquent moins coûteux. On pourrait au besoin augmenter le poids du rail en y appliquant l'économie faite sur le poids du coussinet.

Quelques ingénieurs, conservant à la tige du rail à simple champignon la même épaisseur qu'à celle du rail à double champignon, et au champignon les mêmes dimensions, ont employé une partie du fer détaché du champignon inférieur à allonger cette tige, comme l'indique la fig. 127. Le rail devient alors plus rigide, mais le métal n'y est pas de meilleure qualité que dans le rail à double champignon, et le champignon n'y est pas plus durable. On peut encore employer le fer enlevé au champignon inférieur en partie à renforcer la tige, en partie à améliorer le champignon (fig. 126).

Fig. 127.

On a reproché au rail à simple champignon d'être plus difficile à fabriquer que celui à deux champignons. Il résulte, en effet, de sa forme que, le refroidissement de la barre étant inégal, elle tend à se courber plus facilement que la barre symétrique; mais on obvie aisément à cet inconvénient en prenant certaines précautions.

Les opinions sur les avantages respectifs des rails à simple et à double champignon sont donc très-partagées, et nous inclinons pour les premiers.

En France, on a posé le chemin d'Avignon à Marseille avec des rails à simple champignon, et l'on posera avec des rails de la même espèce toutes les nouvelles lignes du réseau de l'Est, ainsi que le

chemin de fer Grand-Central, les chemins piémontais et ceux du réseau lombardo-vénitien.

En Allemagne, on emploie presque exclusivement un rail à simple champignon, muni à sa partie inférieure d'une semelle au lieu de bourrelets (fig. 128); la semelle repose immédiatement sur les traverses, et le rail est fixé par des crampons ou avec des vis. On supprime ainsi les coussinets. Ce rail est connu sous le nom de *rail américain* et sous celui de *rail à patin* [1].

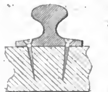


Fig. 128.

On a reproché au rail américain de se renverser dans les courbes; on a dit aussi qu'il était plus difficile à remplacer que le rail à champignon. Des ingénieurs allemands, qui en ont fait souvent usage, nous ont affirmé que, lorsque le patin était suffisamment large et convenablement fixé à la traverse, il conservait sa position, même dans des courbes de petit rayon, les convois marchant à une assez grande vitesse; ils nous ont également assuré qu'on enlevait très-aisément les crampons à l'aide d'un appareil fort simple, de façon que le rail pouvait être remplacé en très-peu de temps.

Ce n'est qu'après avoir recueilli le témoignage de ces ingénieurs que la compagnie de l'Est s'est servie du rail à patin sur les embranchements de Strasbourg à Bâle et de Nancy à Vesoul. La compagnie du Nord a été encore plus hardie que la compagnie de l'Est en adoptant le rail à patin pour le remplacement de ses rails à double champignon, sur la voie principale, où passe un nombre considérable de convois, dont une partie marche à de très-grandes vitesses.

D'après les nombreux écrits qui ont été publiés sur les mérites particuliers du rail à patin, connu sous le nom de rail Vignolles, et plus encore d'après les applications nombreuses qui en ont été faites sur la plupart des chemins allemands, on pourrait croire que la question est définitivement résolue en faveur de ce type.

Il n'en est pourtant pas ainsi : sur quelques lignes de l'État, en Prusse, on conserve encore le rail à double champignon symétrique, supporté par des cornières en fer faisant l'office de mâchoires

[1] On le désigne aussi sous le nom de rail Vignolles, du nom d'un ingénieur anglais, M. Vignolles, qui, le premier, a employé ce rail en Angleterre.

de coussinets, et, sur la ligne bavaroise d'Aschaffenbourg à Bamberg, on a posé récemment une voie avec rails à deux champignons inégaux analogues à ceux de la ligne de Paris à Mulhouse.

Quelques ingénieurs allemands même, contrairement à l'opinion de la majorité de leurs collègues, pensent qu'on reviendra au rail à double champignon par les raisons suivantes :

1° La fabrication de ce rail est beaucoup plus simple, et, par suite, moins coûteuse que celle du rail à patin ;

2° La pose de la voie avec le rail à double champignon est infiniment plus facile, plus expéditive;

3° En cas de rupture d'un rail, le remplacement avec le rail à champignon peut se faire presque instantanément;

4° Si l'un des champignons est usé, l'autre peut faire encore un long service ;

5° Monté sur coussinets en fonte, il permet d'enfouir les traverses profondément dans le sol, ce qui tend à consolider l'ensemble de la voie tout en conservant le bois pendant un laps de temps plus long qu'en le laissant exposé à l'air;

6° Monté avec les cornières en fer, il présente tous les avantages du rail à patin sans en avoir les inconvénients;

7° Il n'oblige pas d'employer pour sa fixation sur les traverses des crampons dont la solidité d'attache n'est jamais parfaite. Lorsque ces crampons s'ébranlent, il faut percer d'autres trous, ce qui, au bout de quelque temps, compromet la résistance de la traverse, qui pourrit beaucoup plus vite.

Le rédacteur de l'instruction sur les chemins bavarois s'exprime de la manière suivante sur les avantages respectifs des rails à coussinets et des rails à base large (rails à patin) :

« Deux systèmes de rails ont été principalement employés jusqu'à ce jour, les rails à coussinets et les rails à base large ; l'expérience n'a pas prouvé de supériorité absolue en faveur de l'un ou de l'autre système, quand on peut se servir de *traverses de bois de l'essence voulue.*

« La simplicité du système de voies et les dépenses moindres de

[1] Ce fait est, avons-nous dit plus haut, très-contesté.

premier établissement parlent en faveur des rails à base large. Une sécurité plus grande et probablement une durée plus grande des rails recommandent le rail à coussinets.

« Avec des dés en pierre de bonne qualité, les rails à base large méritent la préférence, puisqu'ils reposent sur une surface plus grande.

« Quand on n'a pas uniquement des traverses en chêne à sa disposition, et qu'on est forcé de se servir du pin résineux pour traverses intermédiaires, les rails à base large présentent une sécurité suffisante si l'on a soin, 1° d'employer des éclisses à cornières pour faire les joints ; 2° d'intercaler une traverse en plus par longueur de rail dans les courbes ayant moins de 440 mètres de rayon, et 3° enfin si l'on a soin de garnir de platines en tôles au moins trois traverses par longueur de rail dans les courbes extérieures ayant moins de 580 mètres de rayon ; le tout dans la supposition que les rails ne soient pas fixés avec des chevilles en spirales, mais avec des chevilles rectangulaires à crochets.

« Quand on se trouve forcé de se servir uniquement de traverses en pin ou en sapin, on fait bien de donner la préférence au système de rails avec coussinets. »

Constatons toutefois que le rail à patin, adopté sur la plupart des chemins allemands, sur un grand nombre de chemins de fer en Amérique, et sur tous les chemins suisses, commence à être employé en France sur une grande échelle.

Les ingénieurs ne sont pas encore fixés sur la forme et sur les dimensions qu'il convient d'adopter pour ce rail.

Dans les rails les plus nouveaux, on a rendu l'épaulement du champignon horizontal, de telle sorte que celui-ci affecte une forme quasi-rectangulaire. On facilite ainsi, comme nous le verrons plus loin, la consolidation des joints.

Au chemin du Nord le champignon n'est pas entièrement plat audessous, il est légèrement incliné, en sorte que l'éclisse le touche par une surface plane. On a ménagé sur le patin une surface plane de même inclinaison. L'éclisse est alors symétrique, ce qui en facilite beaucoup la pose.

Dans l'origine, on a donné à la surface de roulement des rails la

forme convexe. Plus tard, on a aplati cette surface, pensant qu'en augmentant ainsi la largeur du contact entre la roue et le rail, on diminuerait l'usure du rail. Mais on a bientôt reconnu que les petites irrégularités inévitables dans la pose de la voie et l'usure des roues, qui se creusent en forme de gorge, rendaient cette précaution illusoire. Bien plus, on a remarqué que, avec les rails à surface plate, les roues reposaient en général sur une des arêtes du champignon et l'écrasaient. Enfin, les roues étant coniques, elles ne peuvent rouler en ligne droite sur une surface plane sans qu'il y ait glissement, par conséquent frottement et usure. *Aussi en est-on revenu à bomber la surface des rails.*

Restait à fixer le rayon du bombement.

Avec un rayon très-prononcé, les roues coniques ne sont en contact avec le champignon que par un élément très-étroit. Le frottement à la jante est pour ainsi dire insensible; mais, la pression se trouvant répartie sur une petite surface, l'usure des bandages et des rails n'en est pas moins très-rapide. Si le bombement est au contraire trop faible, les roues reposant sur le rail par un élément d'une grande largeur, il en résulte un frottement de glissement à la jante considérable. Il y avait un moyen terme à prendre pour le bombement; la pratique seule pouvait conduire à le déterminer. Celui qui a été adopté pour les derniers rails à patin du chemin du Nord nous paraît être l'expression la plus correcte des résultats fournis par l'expérience sur ce chemin. Le rayon de bombement est de $0^m,200$; le champignon ayant $0^m,029$ de largeur entre les deux extrémités de l'arc, la flèche du bombement devient $0^m,0005$.

Quand une roue repose sur un rail, dans l'intervalle d'une traverse à la suivante, elle fait fléchir le rail, et, par cela même, tend à le rompre. L'expérience et la théorie s'accordent à prouver que, toutes choses égales d'ailleurs, cette rupture a lieu au point où repose la roue. Mais l'intensité de l'action qui provoque la rupture est d'autant plus grande que ce point est plus rapproché du milieu de l'intervalle entre les deux supports. Il est donc rationnel de donner aux rails des sections variables présentant une résistance minima aux points où ils reposent sur les traverses, maxima au milieu de l'intervalle de ces traverses; et on avait adopté, pour les rails en

fonte, la forme dite d'*égale résistance*, représentée dans la fig. 129, dans laquelle la courbe inférieure est sensiblement une ellipse.

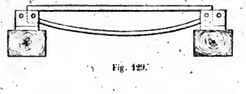


Fig. 129.

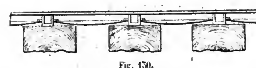


Fig. 130.

On avait même imaginé des procédés de laminage fort ingénieux, qui permettaient d'obtenir des *rails ondulés* en fer (fig. 130). Mais on a bientôt reconnu que l'économie de matière obtenue par ce moyen était loin de compenser les défauts suivants, inhérents au système des rails ondulés. Dans les courbes, la file extérieure des rails présente une plus grande longueur que la file intérieure. Avec les rails ondulés, l'écartement des traverses est nécessairement invariable; les traverses ne peuvent donc pas être normales aux rails. Il arrive aussi assez fréquemment que le terrain s'affaisse sous l'une des traverses et qu'elle cesse alors de servir d'appui. La portée du rail est ainsi doublée, et sa section est la plus faible précisément au point où il doit résister au plus grand effort. Il est impossible de varier l'écartement des points de support des rails ondulés, comme cela peut se faire avec les rails dont la section est la même dans toute leur longueur (rails parallèles) (fig. 131).



Fig. 131.

Enfin, l'économie que l'on réalise en employant les rails ondulés est bien faible, parce qu'ils sont plus coûteux à fabriquer, et que leur valeur, quand ils sont usés, est bien moindre que celle des rails parallèles qui auraient coûté le même prix.

Aujourd'hui l'on ne fait plus usage que de rails à arêtes parallèles.

Dimensions et poids des rails. — Les dimensions et le poids des rails ont toujours été en croissant, à mesure que les waggons et les machines employés sur les chemins de fer sont devenus plus lourds. Ainsi les premiers rails des chemins de Saint-Étienne à Lyon, et de Roanne à Andrezieux, ne pesaient que 15 kilogrammes par mètre courant, et ceux du chemin de Liverpool à Manchester 17 kilogrammes; les coussinets étaient écartés de $0^m,90$. On les remplaça bientôt par d'autres rails pesant 25 kilogrammes par mètre courant, et enfin par des rails de 30 à 37 kilogrammes et demi supportés à des intervalles de $1^m,20$.

En Belgique, on a d'abord fait usage de rails ondulés, du poids de 17 à 22 kilogrammes; puis on leur a substitué des rails à arêtes parallèles à simple T, de 25 à 27 kilogrammes, et enfin des rails à double T de 34 kilogrammes.

Les rails à coussinets des chemins qui ont été construits dans ces dernières années pèsent de 37 à 42 kilogrammes par mètre courant; leur longueur est de 6 mètres. Chaque rail à coussinet de 6 mètres, au chemin de Mulhouse, est supporté par cinq traverses intermédiaires, écartées de 1 mètre d'axe en axe l'une de l'autre, et deux traverses de joint qui supportent les abouts des deux rails consécutifs. Les traverses de joint ont, comme nous l'avons vu, des dimensions plus fortes que les intermédiaires, et sont également écartées de 1 mètre de leurs voisines.

Les rails à simple champignon du chemin de Mulhouse ont 130 millimètres de hauteur, la tête du champignon a 65 millimètres de largeur, et la tige 20 millimètres.

Quant à ce qui concerne le rail à patin, tantôt on lui donne une hauteur de 130 à 140 millimètres, avec une épaisseur de corps de 14 millimètres (Cologne à Minden, Sarrebruck); tantôt on se contente de 100 à 110 millimètres pour la hauteur, avec une épaisseur de corps de 20 millimètres (ligne bavaroise). Le modèle du rail à patin le mieux étudié est le rail type du chemin du Nord français, rail qui a été copié par le chemin de l'Ouest suisse. Dans ce rail, la hauteur totale est de 125 millimètres, l'épaisseur du corps

de 17 millimètres, la largeur totale du champignon de 62 millimètres.

Le rail du Nord pèse 37 kilos par mètre courant; il a 6 mètres de longueur, et repose sur sept traverses.

En Bavière, on prescrit de ne pas dépasser, pour la hauteur des rails à bases larges, 0^m,117, tandis que celle des rails à coussinets peut être portée à 0^m,125. Dans le même pays, on trouve que le poids de 34 kilog. par mètre courant est suffisant pour les rails à coussinets, mais que ce poids doit être porté à 37 kilog. 5 pour les rails à patin.

Plus loin, en traitant de la pose des voies, nous indiquerons l'écartement prescrit en Bavière pour les rails.

Sur le chemin du Palatinat, entre Sarrebruck et Manheim, les rails américains pèsent 35 kilogrammes par mètre courant, et ils reposent sur des traverses espacées de 0^m,900 seulement.

En rapprochant les traverses, on pourrait diminuer notablement le poids des rails; mais il est reconnu qu'en France et en Angleterre les dimensions et portées que nous venons d'indiquer sont plus avantageuses.

Nous n'entrerons pas dans de plus longs détails sur la forme, les dimensions et le poids des rails, le cadre de notre *Traité élémentaire* ne les comporte pas; mais nous engageons les ingénieurs qui voudraient approfondir cette question ainsi que toutes celles qui concernent la pose de la voie à consulter les savantes dissertations de M. Couche et le *Nouveau Portefeuille de l'Ingénieur*. On trouvera dans ce dernier ouvrage la coupe transversale des rails d'un grand nombre de chemins.

Dispositions des joints. — En général, les abouts des rails sont coupés carrément; on laisse entre deux rails consécutifs un espace de 3 à 5 millimètres, afin qu'ils puissent se dilater librement sous l'influence de la chaleur. On a quelquefois fait les joints des rails obliques ou même à mi-fer (fig. 132); mais ces dispositions ont été abandonnées, parce que ces assemblages coûteux ne sont jamais faits avec assez de

Fig. 132.

précision pour faire cesser complétement les chocs qui ont lieu au passage des joints.

On distingue dans les coussinets (fig. 133) : la semelle, sur laquelle portent les rails ; les joues, qui maintiennent le rail latéralement ; et les nervures, destinées à consolider les joues.

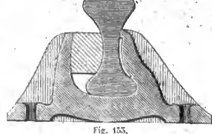


Fig. 133.

Assemblage du rail et du coussinet. — *Les rails sont fixés entre les joues des coussinets au moyen de clefs en fer ou de coins en bois. Aujourd'hui les clefs en fer sont totalement abandonnées,* parce qu'elles brisent fréquemment les coussinets et ne maintiennent d'ailleurs pas les rails aussi bien que les coins en bois. En général, on place les coins du côté extérieur de la voie, afin que la pression que les bourrelets des roues exercent sur les rails, surtout dans les courbes, soit transmise à la joue du coussinet par l'intermédiaire d'un corps compressible. Cette disposition permet aussi de donner aux coins une plus grande hauteur et de les recouvrir entièrement de ballast.

Assemblage du coussinet et de la traverse. — *Les coussinets sont ordinairement fixés sur les traverses au moyen de chevillettes en fer* (fig. 134). A cet effet, la semelle est percée de deux ou quelquefois de trois trous circulaires.

Fig. 134.

Pour saboter une traverse, c'est-à-dire pour y attacher les coussinets, on commence par fixer ces coussinets, au moyen de coins, sur deux bouts de rails assemblés par des vis aux deux extrémités d'une barre de fer. Cet appareil, appelé gabarit, est disposé de manière que les bouts de rails occupent, l'un par rapport à l'autre, exactement la même position que les rails de la voie. On fait reposer le gabarit portant les deux coussinets sur la traverse, et l'on trace les entailles qui doivent recevoir ces coussinets. On enlève le gabarit,

on exécute les entailles et on les retouche jusqu'à ce que les semelles reposent bien exactement sur la traverse ; on perce les trous de chevillettes, et l'on enfonce ces chevillettes à coups de masse ; enfin on enlève les coins et le gabarit.

Si le sabotage n'est pas fait avec le plus grand soin, la voie manque de régularité. En général, on sabote en chantier, afin de pouvoir mieux surveiller les ouvriers ; quelquefois on a transporté les traverses brutes sur la voie, et on les a sabotées en place.

Les coussinets qui sont placés aux joints des rails sont plus lourds que les intermédiaires ; ils en diffèrent par une plus grande largeur de la semelle, et quelquefois par l'adjonction d'une troisième chevillette.

On reproche aux chevillettes en fer de s'altérer par l'oxydation due aux eaux qui séjournent dans les trous des coussinets, et par les chocs qu'elles subissent au passage des trains quand elles ne remplissent pas exactement ces trous.

On a employé sur le chemin de Londres à Douvres, en Angleterre, sur ceux de Montereau à Troyes, de Tours à Nantes et de Gray à Blesme, en France, des chevillettes en bois comprimé. Sous l'action de l'humidité, ces chevillettes se gonflent et emplissent bien exactement les trous des coussinets. La figure 135 représente une chevillette en bois avant qu'elle ait été comprimée ; la figure 136, la même chevillette après qu'elle a subi l'opération de la compression.

Fig. 135. Fig. 136.

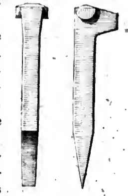
Au chemin de Montereau à Troyes, ces chevillettes se sont pour la plupart pourries et rompues à la jonction du coussinet et de la traverse.

Quand, au lieu de traverses, on fait usage de dés en pierre, on perce, au droit des trous des coussinets, des trous dans le dé, et l'on y chasse des chevilles en bois dans lesquelles on enfonce les chevillettes en fer (fig. 137).

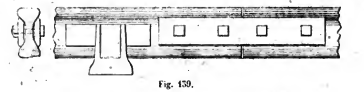
Fig. 137.

Sur le chemin d'Aschaffenbourg à Bamberg, où l'on emploie un rail à double champignon, le coussinet est fixé à la traverse au moyen de longs clous barbelés enfoncés dans des bondes coniques en bois, qui remplissent exactement les trous du coussinet.

Assemblage des rails à patin et des traverses. — Les rails à patin sont aujourd'hui généralement fixés aux traverses par des crossettes ou chevilles à crochet (fig. 138). Dans les alignements et pour les courbes d'au moins 585 mètres de rayon, il suffit, dit l'instruction sur les chemins bavarois, de fixer le rail sur chaque traverse intermédiaire au moyen de deux chevilles à crochets; mais, dans les courbes d'un rayon moindre, il est nécessaire d'employer sous le rail extérieur une platine en tôle liant la cheville intérieure à celle extérieure.


Fig. 138.

Éclisses. — Malgré tous les soins apportés dans la fabrication des rails et des coussinets, et dans le sabotage des traverses, les joints des rails sont sujets à se déranger et surtout à se désaffleurer dans le sens horizontal. Il en résulte des chocs au passage des joints, chocs aussi préjudiciables à la conservation du matériel que désagréables aux voyageurs. Pour éviter ces chocs, on a été conduit, sur quelques chemins anglais et allemands, à placer quatre traverses sous chaque rail, les deux extrêmes n'étant écartées des deux bouts du rail que de 0^{m},30 à 0^{m},40. Les joints sont alors formés par deux platines ou *éclisses* en fer (fig. 139) pla-


Fig. 139.

cées des deux côtés de la tige des rails et réunies par quatre boulons. D'autres fois, on a donné aux coussinets de *joints* la forme représentée dans la figure 140, et on a remplacé la joue supprimée par une éclisse. Les Allemands l'appliquent avec un succès incontestable aux rails américains.

Pour fixer les rails à base large, on recommande en Bavière de

réunir les joints au moyen d'*éclisses à cornières*, chacune fixée par deux chevilles à crochet.

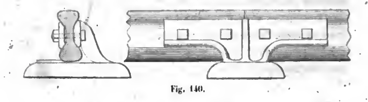


Fig. 140.

MM. Grenier et Goschler, enfin, ingénieurs au chemin de fer de l'Est, ont imaginé un coussinet-éclisses tout en fer que l'on emploie avec succès sur ce chemin.

Ce coussinet (fig. 141 et 142) a principalement pour objet d'éviter de placer les joints en porte à faux, quand on emploie les rails à champignons ordinaires. Il repose sur la traverse, et se compose de deux mâchoires qui sont traversées, ainsi que le rail, par un boulon.

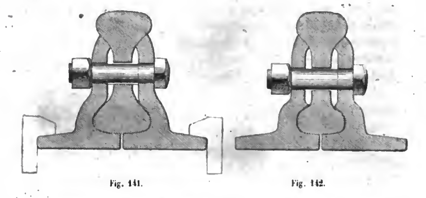


Fig. 141. Fig. 142.

L'emploi du coussinet-éclisses n'offre pas les mêmes avantages pour le rail américain que pour le rail à champignon ordinaire.

Dans la voie américaine, il n'y a plus de joints en porte à faux. L'éclisse ordinaire est placée au-dessus de la traverse, et l'on intercale une platine en fer forgé entre le rail et la traverse. Cette plaque est nécessaire pour maintenir la nivellation des rails aux joints. On

s'exposerait, en la supprimant, au risque d'imposer aux boulons d'éclisses un surcroît de travail.

La différence entre les deux systèmes d'éclisses appliqués au rail américain est donc que les joints avec les éclisses ordinaires admettent une platine indépendante, tandis que les coussinets-éclisses portent leurs platines avec eux.

Les coussinets-éclisses présentent plus de solidité peut-être, et sont moins sujets à se déranger, mais les réparations aux voies de fer sont plus difficiles qu'avec les éclisses ordinaires, et leurs platines indépendantes.

Sous le rapport de la dépense, les éclisses ordinaires sont plus économiques que les coussinets-éclisses, et la différence peut être évaluée à 200 ou 250 fr. par kilomètre.

Les coussinets-éclisses paraîtraient donc avantageux plutôt pour la voie posée avec les rails ordinaires à champignons que pour celle posée avec les rails à patins. Ils sont toutefois susceptibles d'application dans l'un et dans l'autre cas.

En Allemagne, on a reconnu que la forme du champignon le plus usité produisait sur l'ensemble des éclisses l'effet d'un coin qui transmettait aux faces inclinées des éclisses l'effort exercé par le poids des véhicules, effort tendant à écarter les éclisses du rail, et, par suite, à faire rompre les boulons.

On a, pour consolider l'assemblage, employé des boulons à double écrou, moyen coûteux, et qui n'est qu'un palliatif insuffisant.

C'est aussi pour obvier à cet inconvénient grave que l'on a donné au champignon la forme quasi rectangulaire que nous avons indiquée plus haut.

Cette disposition a pour effet de soulager les éclisses et leurs boulons. Nous devons ajouter qu'elle est surtout avantageuse lorsqu'on veut consolider les joints des rails à champignons symétriques ou non symétriques, au moyen de cornières analogues à celles employées sur la ligne de Paderborn ou sur celle de Bamberg.

Le rail repose alors directement sur la traverse par un champignon inférieur, et il est soutenu des deux côtés par des cornières en fer, qui sont réunies au moyen de boulons. Deux cas se présentent :

ou bien les cornières et le rail portent en même temps sur le bois, ou bien le rail seul est en contact avec la traverse. Dans le premier cas, le serrage n'est pas complet; dans le second, l'effort se transmet immédiatement sur les boulons, et il ne tarde pas à produire un ferraillement que l'on ne parvient à éviter qu'en faisant porter le patin de la cornière sur la traverse par une extrémité seulement.

Au chemin de Magdebourg à Halberstadt, on a remplacé les traverses de joints par deux portions de longuerines assemblées avec les traverses voisines. En Autriche, on place, sous les traverses de joints, des longuerines qui augmentent ainsi la surface par laquelle ces traverses reposent sur le ballast.

Rails en bois et fer. — Les premiers railways se composaient de longuerines en bois fixées sur des traverses également en bois. Afin de diminuer l'usure des longuerines et de rendre la surface de roulement plus dure et plus unie, on les recouvrit bientôt de plaques de fer. Dans les pays où le prix de ce métal est peu élevé par rapport à celui du bois, on supprima complétement le bois des rails, et on les composa entièrement de fonte et enfin de fer. De là l'origine de la voie que nous venons de décrire.

En Amérique, où le bois est à très-bas prix, on a construit néanmoins, il n'y a pas bien longtemps, des chemins de fer à rails en bois garnis d'une mince barre de fer plate, fixée au moyen de clous ou de vis à bois (fig. 143). Mais on reconnut bientôt que, dès que le poids des véhicules devenait un peu plus considérable, le bois s'écrasait malgré la bande de fer qui le recouvrait et que les vis s'arrachaient. On fut ainsi conduit à renforcer le rail en fer et à lui donner la forme représentée dans la figure 144. Ce rail est fixé en Amérique sur des longuerines en bois au moyen de crampons en fer ou de vis à bois. Sur le chemin de Philadelphie à Colombia, en Amérique, on conserva la simple barre de fer, mais on substitua aux longuerines en bois des supports continus en granit.



Fig. 143.

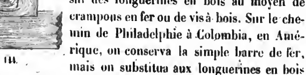


Fig. 144.

On peut considérer le rail américain posé sur longuerines comme un rail composé de bois et de fer. Dans ce système, on peut espacer les traverses plus qu'on ne le fait dans le système ordinaire; et, si la longueur de la voie est considérable, la consommation de bois peut ne pas être augmentée, tandis que l'on obtient, avec des rails d'un poids comparativement faible, un chemin capable de supporter les plus fortes charges.

Rail Brunel. — M. Brunel a, le premier, introduit en Angleterre, sur le chemin de Londres à Bristol (Great Western), le système des longuerines. Le rail dont il s'est servi présente une forme très-rationnelle, en ce qu'il a une base très-large et que la partie qui est soumise à l'action des roues est parfaitement bien soutenue aux points où les rails à champignon s'écrasent fréquemment. Ce rail, représenté par la fig. 145, est fixé sur les longuerines; son poids, qui était de 22 kilogrammes dans l'origine, a été porté depuis à 27 kilogrammes et demi, et enfin à 35 kilogrammes.

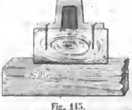


Fig. 145.

Sur la première section du chemin de Londres à Bristol, M. Brunel avait, dans le but de donner plus de solidité à la voie, posé ses longuerines sur des pilots. Ce mode de construction n'a pas tardé à être abandonné, parce que la voie manquait d'élasticité au droit des pilots, et qu'elle fléchissait beaucoup au passage des machines dans l'intervalle de ces pilots; aujourd'hui, le Great Western a sa voie composée de longuerines réunies par des traverses espacées de 3 à 4 mètres.

On a construit un assez grand nombre de chemins de fer avec longuerines, soit en Angleterre, soit en Allemagne, soit en Hollande. En France, les chemins d'Auteuil, de Dôle à Salins, une partie de ceux du Midi et celui de Gray à Saint-Dizier sont construits avec les rails Brunel posés sur longuerines. Tantôt on a employé le rail américain, tantôt le rail Brunel; ce dernier a été souvent préféré. Les rails ont été fixés partie au moyen de boulons (fig. 146), et partie au moyen de crampons à talons (fig. 147). Les boulons forment le mode d'attache le plus solide, mais ils présentent plusieurs

inconvénients : si l'écrou est en-dessous, ils sont difficiles à enlever ; si, au contraire, il est en-dessus, il faut donner au rail une grande hauteur, afin que les boudins des roues ne viennent pas les

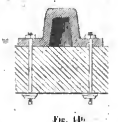


Fig. 146.

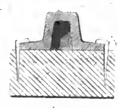


Fig. 147.

rencontrer. Enfin les boulons, devant passer dans des trous percés dans les pattes du rail, ne peuvent être changés de place. Ils présentent ce dernier inconvénient, comme les vis.

Les crampons sont enfoncés dans la longuerine en dehors du rail ; leur tête vient s'appuyer sur les pattes de ce rail. Ils permettent ainsi la dilatation du rail et peuvent être changés de place ; mais ils font fréquemment fendre les longuerines.

Quel que soit le mode d'assemblage des rails et des longuerines, il faut placer dans les joints des rails des plaques en fonte ou en fer : sans cette précaution, le bois s'écrase en fort peu de temps.

Au chemin d'Auteuil, les rails sont fixés sur les longuerines au moyen de petites pattes en fonte serrées au moyen de vis à tête carrée (fig. 148).

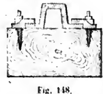


Fig. 148.

Au premier abord, le système des longuerines semble préférable à celui des rails posés sur traverse. En effet, les rails supportés uniformément dans toute leur longueur paraissent placés dans de meilleures conditions que ceux qui ne le sont que de distance en distance. La voie sur longuerines est plus douce que la voie sur rails ordinaires ; enfin elle est sans danger dans le cas de rupture d'un rail.

Néanmoins le mode d'établissement de la voie sur longuerines présente plusieurs inconvénients graves qui l'ont fait abandonner sur les chemins allemands.

Les joints sont très-imparfaits, les longuerines sont sujettes à se déverser, surtout dans les courbes de petit rayon, elles sont coûteuses de fabrication. On ne peut pas, comme pour les traverses, y employer des bois bruts ou grossièrement équarris. Exigeant plus de façon, elles ne peuvent être faites que par des ouvriers spéciaux que l'on n'a pas toujours sous la main et qui coûtent fort cher. Le mode d'attache des rails sur les longuerines est compliqué et toujours plus ou moins défectueux; le relevage d'une voie de ce système est plus difficile que celui d'une voie posée sur traverses. Régnant sur toute la longueur de la voie, ces traverses gênent l'écoulement des eaux de la chaussée vers les fossés. Le rail Brunel se plie difficilement suivant l'arc des courbes. Il se prête moins bien que les rails à champignons aux exigences des voies de terrassement, et les entrepreneurs s'en servent souvent pour ces voies sans interposition de longuerines. Il se brise alors très-facilement. Au chemin de Blesme à Gray, plus de cinq mille rails Brunel ont été ainsi détruits sur une petite longueur de voie en très-peu de temps; enfin le métal paraît beaucoup plus fatigué dans la fabrication que celui des rails ordinaires.

Sur le chemin de Blesme à Gray et sur celui de Dôle à Salines, on a interrompu les longuerines entre les traverses afin de faciliter le passage de l'eau; il en est résulté, comme il était facile de le prévoir, une voie instable fort mauvaise.

On a essayé sur quelques chemins en Allemagne le rail Brunel portant seulement sur des appuis transversaux comme le rail ordinaire; cette application peu rationnelle de cette espèce de rail n'a obtenu aucun succès.

Rails employés aux États-Unis. — Les ingénieurs américains, qui ne reculent pas devant les essais, ont expérimenté toute espèce de systèmes de voie, à l'exception du rail Barlow, dont ils n'ont pas encore fait usage.

Le rail le plus anciennement employé est celui fig. 149. On s'en est servi au chemin de Long-Island, entre New-York et Boston; sa longueur était de 5 mètres; son poids, par mètre courant, de 15 kilogrammes environ. Le coussinet avait la forme indiquée sur la figure, et le rail y était fixé au moyen d'une clavette en fer; ce

coussinet portait sur des traverses. Ce rail est actuellement remplacé par le rail à patin.

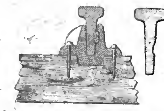


Fig. 149.

Les Américains se sont aussi préoccupés des joints; ils ont cherché à faire des rails composés de deux parties boulonnées dans lesquelles les joints se croisaient (figure 150); ce rail a été essayé sur le chemin du Nord à Érié; mais ce système n'a pas eu grand succès, non plus que celui représenté figure 151, qui a été employé sur le

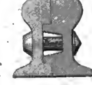


Fig. 150.

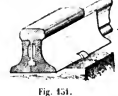


Fig. 151.

chemin de Baltimore à l'Ohio; ils n'ont pas encore songé à employer les éclisses.

Le rail à patin est employé maintenant presque exclusivement en Amérique aussi bien qu'en Allemagne : il pèse de 25 à 32 kilogrammes; ses dimensions, en hauteur et largeur, varient suivant les chemins. La figure 152 représente celui employé au chemin de Philadelphie à Baltimore : il pèse 31 kilogrammes 56. La figure 153 reproduit le rail du chemin de Hicaga à Galène : son poids est de 28 kilogrammes par mètre courant. La longueur de ces rails est de 5 à 6 mètres; ils sont posés et fixés sur les traverses au moyen de



Fig. 152.



Fig. 153.

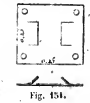


Fig. 154.

crosses en fer; dans les joints on place une platine en fer (fig. 154)

dans laquelle on découpe à l'emporte-pièce deux languettes de fer qui saisissent les pattes du rail : ces platines ont $0^m,16$ sur $0^m,15$ de côté.

Différentes variétés de coussinets. — Les coussinets employés dans les voies ordinaires ont des formes variées que nous allons décrire. En général, la petite saillie contre laquelle s'appuie le rail est évidée intérieurement, comme l'indique la figure 155. Diminuant ainsi la surface de contact, on a plus de chances de l'obtenir bien unie. Généralement aussi on évide le coussinet en dessous, afin d'en diminuer le poids. Anciennement, la face intérieure du coussinet, sur laquelle repose le rail, était parallèle à la face qui repose sur la traverse. Le coussinet était logé dans une entaille faite à la traverse (fig. 155), et on donnait au fond de l'entaille une inclinaison de $\frac{1}{20}$ vers l'axe de la voie, en sorte que la surface du champignon supérieur avait la même inclinaison. Cette inclinaison est aussi celle des roues coniques en usage sur les chemins de fer. La surface de roulement, étant plate, reposait sur toute son étendue; cette surface étant bombée, repose sur le sommet du champignon, audessus de la tige. On a reconnu qu'il était fort difficile d'obtenir des charpentiers assez de précision pour que l'inclinaison de l'entaille fût toujours exactement de $\frac{1}{20}$, et on a remplacé l'entaille à fond incliné par une entaille à fond horizontal. On donne alors l'inclinaison au rail en la donnant au moulage à la face intérieure du coussinet, sur laquelle repose le rail (fig. 156).

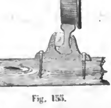


Fig. 155.

Aux chemins de fer de l'Est, nous employons avec avantage, pour creuser les entailles, une invention fort ingénieuse de M. Denis, ingénieur en chef directeur des chemins bavarois.

Fig. 156.

Dans la plupart des coussinets employés sur nos grandes lignes, les deux trous dans lesquels se logent les chevillettes sont placés sur une perpendiculaire à l'axe du chemin. Il en résulte que, les deux chevillettes rencon-

trant les mêmes fibres de la traverse, celle-ci est très-sujette à se fendre. Sur le chemin de Londres à Douvres, où les chevilles sont en bois, on a, pour éviter ces inconvénients, employé le coussinet fig. 157, dont les trous sont placés sur une ligne inclinée à l'axe.

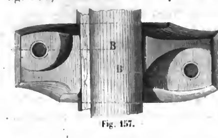
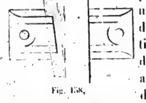


Fig. 157.

Chaque joue n'est alors soutenue que par une nervure unique. Cette disposition a été depuis lors adoptée sur plusieurs lignes, pour les chevillettes en fer comme pour les chevilles en bois. Elle l'a été sur le chemin de Mulhouse, aujourd'hui en construction.

On a quelquefois, pour augmenter le serrage des coins, incliné sur l'axe de la voie la face intérieure de la saillie du coussinet contre laquelle le coin s'appuie, comme l'indique la figure 158.

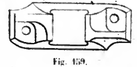

Fig. 158.

Mais, l'action des roues sur le rail le poussant en avant ou en arrière de leur mouvement, suivant que l'action des roues de waggons ou celle des roues de locomotion prédomine[1], en faisant glisser le coin dans le même sens, le serrage augmente au passage des convois dans une certaine direction; le coin au contraire prend du jeu dans la direction opposée. Il faut donc, sur les chemins à deux voies, étudier la direction suivant laquelle les rails tendent à se mouvoir et chasser le coin de façon qu'il contrarie ce mouvement. Sur les chemins à une seule voie, les convois marchant sur le même rail, tantôt dans une direction, tantôt dans l'autre, il est indifférent de chasser le coin de droite à gauche ou de gauche à droite.

Pour remplir, sur les chemins à deux voies, la condition susénoncée, en se servant des coussinets fig. 158, il faudrait que les coussinets fussent de deux modèles différents, ce qui deviendrait

[1] L'action des roues de waggons tend à chasser les rails en avant, tandis que celle de roues motrices de la locomotive tend à produire un glissement en arrière.

une grande sujétion dans la pose; aussi préfère-t-on aujourd'hui les coussinets du modèle fig. 159, dans lequel les deux joues ou saillies sont parallèles, et on arrondit les joues à leurs extrémités pour faciliter l'entrée du coin.


Fig. 159.

Préparation des bois. — Comme il a été constaté que, dans d'assez bonnes conditions de conservation, les traverses en chêne employées pour la construction des chemins de fer ne durent pas au delà d'une quinzaine d'années, et que celles en sapin et en hêtre durent encore moins longtemps, on a essayé un grand nombre de procédés dans le but d'en prolonger l'existence.

En Angleterre, où les chemins de fer sont généralement posés sur des traverses en sapin, on s'est beaucoup servi pour cela, dans l'origine des chemins de fer, de sublimé corrosif. Les traverses étaient simplement plongées dans un bain de sublimé; mais ce mode de préparation a été abandonné, parce qu'il était coûteux et dangereux. On a remplacé le sublimé corrosif par la créosote impure[1], par le sulfate de cuivre, le sulfate de fer, le pyrolignite de fer, le chlorure de zinc, et par le mélange de sulfure de barium et de sulfate de fer. Ces réactifs sont introduits dans la traverse tantôt au moyen d'une simple immersion dans une dissolution bouillante, tantôt par pression ou succion, comme nous l'indiquerons plus loin; le second l'est toujours par pression.

L'emploi de la créosote paraît avoir obtenu un assez grand succès. On a fait aussi usage avec avantage du sulfate de cuivre et du mélange de sulfure de barium et de sulfate de fer. Quant au sulfate de fer isolé et au pyrolignite, étant acides, ils ont l'inconvénient d'attaquer le bois. Le chlorure de zinc est peu efficace.

En France, toutes les traverses en chêne des chemins de fer de Rouen et du Havre ont été immergées dans un bain de sulfate de cuivre. Il a été bien reconnu que le sulfate ne pénétrait pas au delà de l'aubier; mais, en imprégnant l'aubier, il prolonge la durée de la traverse, dont l'aubier est toujours la première partie détruite.

[1] Huile obtenue par la distillation du goudron et ne contenant pas réellement plus de 1 à 2 pour 100 de créosote.

Au chemin du Nord, où l'on a employé le même procédé pour un certain nombre de traverses, on a cru trouver sur les bois ainsi préparés une diminution de résistance assez sensible. Au chemin de Strasbourg, une partie des traverses en chêne ont été également préparées par ce procédé; mais aujourd'hui sur l'un et sur l'autre chemin on les emploie sans préparation.

L'immersion dans le sulfate de cuivre n'a pas semblé assez avantageuse pour qu'on dût continuer à en faire la dépense.

La créosote est trop chère en France pour que l'on ait pu jusqu'à ce jour en faire usage sur une grande échelle.

Au chemin du Nord, on a préparé un grand nombre de traverses par le procédé Boucherie modifié, et en se servant de sulfate de cuivre. Pour appliquer ce procédé, on prend une pièce de bois de hêtre généralement ronde, ayant deux fois la longueur d'une traverse; on la couche sur le sol, et, à égale distance des extrémités, on donne un trait de scie qui laisse intacte une petite portion de l'épaisseur à la partie inférieure; faisant passer ensuite une cale sous la traverse au-dessous du trait de scie, comme l'indiquent les figures 160, 161 et 162, on élargit la fente. Dans cette fente, on in-



Fig. 160. — Pompe de communication entre le réservoir inférieur *F* et la tonne *A*. Gouttière de distribution H, et panier de sulfate de cuivre X.

Fig. 161. — Trait de scie avec les cordes et les tubes.

Fig. 162. — Bille en préparation avec la gouttière supérieure, les trois rigoles inférieures *EEK*, les pièces de support *H* et celle du milieu *J* pour l'action des coins ouvrant le trait de scie.

troduit un bout de corde plus épais au milieu qu'aux extrémités, et sur lequel on place un entonnoir qui reçoit du sulfate de cuivre en dissolution, au moyen d'un tuyau en caoutchouc, communiquant avec un réservoir supérieur. Le liquide pénètre à droite et à gauche dans les deux traverses. La séve sort d'abord par les extrémités,

puis, lorsqu'elle s'est entièrement écoulée, le sulfate de cuivre prend sa place. Le bois ne s'imprègne convenablement que lorsqu'il est vert. Dans le bois de hêtre il se trouve ordinairement une partie cylindrique intérieure de petit diamètre *a* (fig. 165) qui ne s'imprègne pas. On sépare cette portion morte quand on débite l'arbre en traverses.


Fig. 165.

Au chemin de Strasbourg, on s'est servi du procédé Payne, en introduisant, comme réactif, le sulfure de barium et le sulfate de fer. Ce procédé consiste à placer la traverse dans un cylindre en fonte où l'on fait le vide. On fait ensuite pénétrer successivement, dans les cavités de la traverse, le sulfure de barium et le sulfate de fer, par pression, au moyen d'une pompe foulante. Il se forme, par double décomposition, du sulfate de baryte qui s'oppose à la pourriture du bois. Les traverses ainsi préparées n'ont pas duré plus de deux ans, mais cela paraît tenir à ce que le procédé n'avait pas été bien appliqué. Le dosage de sulfure de barium et de sulfate de fer n'ayant pas été convenablement fait, la traverse aurait été détruite par le sulfate de fer en excès. En Angleterre, au contraire, d'après le témoignage de M. Payen, on aurait parfaitement réussi à prolonger la durée des bois par ce procédé. Nous n'oserions toutefois en conseiller l'usage, à cause des difficultés que l'on éprouve à exercer une surveillance continue et suffisante sur l'entrepreneur. En outre, ce procédé est peu expéditif; celui de M. Boucherie, tel qu'il a été employé au chemin du Nord, semble devoir être préféré. *On considère, sur ce chemin, le procédé Boucherie comme tellement efficace, qu'on n'hésite pas à payer les traverses en hêtre préparé le même prix que celles en chêne préparé.*

M. Molinos, ingénieur civil, dans un article fort intéressant sur la préparation des bois, inséré dans les *Mémoires des Ingénieurs civils de Paris* (avril-juin 1853), conseille un procédé de l'invention de M. Bethell. Ce procédé consiste à injecter le bois avec du sulfate de cuivre ou tout autre antiseptique dans le cylindre ordinairement employé à cet effet ; à le dessécher ensuite dans une étuve, de manière à ne laisser dans le bois que le sel cristallisé ou combiné avec l'albu-

mine ; enfin, à le plonger, au sortir de la chambre de dessiccation, dans une chaudière contenant du goudron brut. « Si on se reporte, dit M. Molinos, aux causes de la destruction des bois, on verra que ce procédé résume à lui seul toutes les conditions possibles du succès. » En effet, la présence du sulfate de cuivre rend l'albumine imputrescible ; l'absence de l'eau empêche la fermentation de se produire; enfin, l'enveloppe imperméable de goudron empêche le retour de l'eau et de l'air. La préparation par ce procédé, suivant Bethell, ne serait pas excessivement coûteuse ; elle ne reviendrait pas à plus de 11 fr. par mètre cube.

Sur les chemins du Palatinat et des bords du Rhin, on ne prépare pas les traverses en chêne, mais on les dépouille de leur aubier à coups de hache. On prétend aussi qu'en les posant simplement sur le sable, et laissant toute la partie supérieure découverte, on en prolonge la durée. Ce dernier fait nous paraît contestable ; nous avons indiqué précédemment que sur nos chemins français nous nous étions appliqués, au contraire, à les envelopper complétement de ballast.

L'instruction sur les chemins bavarois recommande d'enlever dans les traverses en chêne l'aubier, jusqu'à faire reposer entièrement sur le bon bois les coussinets ou les rails. « Il vaudrait encore mieux l'enlever entièrement, ajoute l'instruction. Cet enlèvement de l'aubier est également désirable dans les traverses en pin; mais, en général, il est trop fort, et il resterait trop peu de bon bois. » Nous lisons encore dans la même instruction : « Une couche de ballast de moins de $0^m,09$ sous les traverses ne présente aucun avantage, et doit même être considérée comme nuisible. Avec une voie avec rails à coussinets il n'y a aucune objection à faire contre une couverture suffisante de ballast. Dans une voie avec rails à base large on regarde la couche de ballast comme également utile, quand ces traverses sont en chêne, puisque le bois, tout en se fendant facilement, retient suffisamment les chevilles ; quand au contraire les traverses sont en bois tendre, l'expérience a montré qu'il convient de pouvoir bien observer les chevilles, et provisoirement, pour cette raison, on s'abstiendra de couvrir les traverses. Pour vider entièrement la question, on maintiendra en

attendant, et à titre d'essai, la couche de ballast sur les traverses en pin de la ligne d'Augsbourg à Ulm. »

La note suivante, que nous devons à l'obligeance de M. Alquié, ne laisse plus de doute sur l'efficacité du procédé Boucherie appliqué à certaines essences de bois :

« C'est en 1846 qu'ont été faits les premiers essais sur le chemin du Nord. Toutes les traverses qui, à cette époque, *ont été bien préparées,* sont aujourd'hui comme le jour où elles ont été mises en terre. Les procédés employés à cette époque n'étaient pas parfaits, on manquait d'expérience. Un assez grand nombre de traverses ont été mal préparées, c'est-à-dire incomplétement. Les parties bien préparées se sont conservées, les autres se sont pourries. Ainsi il est bien certain que la conservation n'est assurée que là où il y a du sulfate de cuivre. Il est donc très-important de ne prendre du fournisseur que des traverses parfaitement préparées. Le procédé Boucherie s'applique parfaitement en général aux bois sans cœur comme le hêtre, le charme, le bouleau, le pin, etc. Quand le hêtre, le pin ou le sapin ont du cœur, l'aubier, seul, prend la préparation.

« La Compagnie du Nord a maintenant dans ses voies près de quatre cent mille traverses de bois préparé par le procédé Boucherie. De nombreux et forts marchés sont encore en cours d'exécution. L'état dans lequel se trouvent les traverses qui ont été bien préparées il y a dix ans, et qui sont dans la terre depuis cette époque, est tel, que je ne puis estimer une limite de durée à ces traverses ; il est difficile de donner des résultats comparatifs bien définis dans mon opinion. La traverse demi-ronde en chêne ne vaut pas grand'chose ; je ne crois pas qu'on puisse lui donner une durée moyenne de plus de cinq à six années. Une traverse en cœur de chêne durera plus du double, et enfin pour nous la durée d'une traverse en bois de hêtre, de charme, etc., *bien préparée*, est indéfinie..... »

M. Couche, ingénieur en chef, nous a confirmé les renseignements fournis par M. Alquié, et il a ajouté que la réfection du chemin de fer du Nord l'ayant obligé à faire découvrir toutes les anciennes traverses en chêne de ce chemin, il avait reconnu que les traverses demi-rondes ne duraient pas en moyenne plus de cinq

à six ans, et celles équarries, plus de douze à quinze ans. Celles en hêtre préparé, découvertes au bout de onze ans, lui ont paru tout à fait neuves.

La Compagnie de l'Est, qui a employé, l'année dernière, cinquante mille traverses en hêtre ou sapin préparé par le procédé Boucherie pour la réfection du chemin de Bâle, vient d'en acheter (mai 1857) soixante mille pour la pose de la seconde voie du chemin de Mulhouse; la compagnie du Midi a acheté soixante mille traverses en pin préparé par le même procédé.

Durée des rails. — On a peu de données précises sur la durée des rails; en voici cependant quelques-unes :

Le North-Western-Railway est de tous les chemins anglais le plus important; sa longueur est de 500 milles anglais. Le capitaine Huish, chargé par l'administration de cette Compagnie d'étudier l'usure des rails, a trouvé que le mouvement étant, sur la partie comprise entre Liverpool et Manchester, de quatre-vingt-dix trains par jour, sur celle comprise entre Birmingham et le chemin de Liverpool à Manchester (ancien chemin Grand-Junction) de trente-huit trains, et sur la section de Londres à Birmingham de quarante-quatre trains, soit en moyenne cinquante trains par jour, les rails ne dureraient pas au delà de vingt ans, ce qui équivaut à une durée de vingt ans pour dix-huit mille deux cent cinquante trains par an.

M. Belpaire, ingénieur belge, a trouvé, d'après des observations faites sur les chemins belges, que les rails, avec un mouvement annuel de trois mille trains par an, dureraient cent vingt ans, soit, en supposant la durée proportionnelle au mouvement, vingt ans seulement avec un mouvement annuel de dix-huit mille trains. Cette coïncidence est remarquable. Il est vrai que les rails belges ne pèsent que 25 kilogrammes par mètre, tandis que les rails anglais pèsent de 30 à 40 kilogrammes; d'un autre côté, le poids du matériel belge et la vitesse avec laquelle marche ce matériel sont très-sensiblement inférieurs au poids et à la vitesse de marche du matériel anglais.

Ces données seraient probablement inapplicables aux rails actuels. Il est à craindre que ces rails, fatigués à l'excès par les énormes

machines en usage aujourd'hui, durent fort peu de temps. Il importe de rechercher les moyens d'en prolonger l'existence. On ne peut guère en augmenter les dimensions, qui sont déjà très-grandes. mais on peut en améliorer la fabrication, et remplacer les rails en fer, au moins sur certains points où la fatigue est plus grande que sur d'autres, par des rails en acier puddlé.

Réserve pour réfection de la voie. — Si toutefois on veut se faire une idée du capital que les compagnies doivent mettre chaque année en réserve pour le remplacement des rails, des coussinets et des traverses, on y parviendra à l'aide des données qui suivent :

Les rails dont on s'est servi dans l'origine pour construire le chemin de fer du Nord français ne pesaient que 30 kilogrammes. Chaque rail, long de $4^{m},50$, reposait sur cinq points d'appui ; l'écartement des points extrêmes était de 1 mètre seulement ; celui des points intermédiaires était de $1^{m},25$. Peu de temps après l'ouverture, on ajouta une cinquième traverse pour chaque rail ; en sorte que l'écartement des points extrêmes fut réduit à $0^{m},75$, et celui des points intermédiaires à 1 mètre.

Le poids des machines augmentant dans une proportion considérable (de 16 ou 20 tonnes à 30 tonnes), il devint nécessaire de remplacer les rails de 30 kilogrammes par des rails de 37 kilogrammes. Ces derniers, longs de 6 mètres, furent placés sur sept traverses ; l'écartement des traverses extrêmes étant de $0^{m},60$, et celui des traverses intermédiaires de $0^{m},90$, les joints se trouvèrent en porte à faux et furent consolidés au moyen d'éclisses. Aujourd'hui on emploie, concurremment avec ces rails à double champignon, des rails Vignolles du même poids, pour lesquels nous avons déjà indiqué l'écartement des points d'appui.

La substitution des rails lourds aux rails légers a eu lieu en 1855, dix ans environ après l'ouverture de la ligne. Une partie, évaluée à 20 pour 100 de la totalité, était alors complétement hors de service et fut vendue aux maîtres de forges ; 24 pour 100 de rails plus ou moins avariés furent mis à la disposition des entrepreneurs pour des travaux de terrassement ; 36 pour 100 de rails, dont un rebord seulement avait souffert, furent considérés comme propres à faire encore de très-bonnes voies ; 20 pour 100 enfin étaient en parfait

état et auraient pu servir à la construction de voies neuves s'ils eussent été d'un modèle plus résistant.

Prenant pour prix des rails neufs 280 francs la tonne, on a estimé les rails de premier choix comme valant encore 250 francs la tonne; ceux du deuxième choix 240 francs; ceux du troisième choix 220 francs; et ceux du quatrième choix 200 francs.

Au chemin de Rouen, le matériel étant généralement plus léger que sur les autres lignes, ce n'est que dans ces derniers temps que, les machines devenant un peu plus lourdes, on a jugé à propos de remplacer les anciens rails à double champignon du poids de 35 kilogrammes par mètre courant par des rails de 37 1/2 kilogrammes, également à double champignon, les joints de ces derniers étant consolidés par des coussinets-éclisses du système Grenier et Göschler. Les anciens rails avaient 4^m80 de longueur et étaient supportés par cinq traverses, l'écartement des traverses extrêmes étant de $1^m,05$ et celui des traverses intermédiaires de $1^m,35$. Les nouveaux rails, de 6 mètres de longueur, reposent sur sept traverses; les deux extrêmes sont écartées de $0^m,75$, et celles intermédiaires de $0^m,90$.

La plus grande partie des rails du chemin de Rouen, posés au moment de l'ouverture (1842 à 1843), sont encore dans un état de conservation tel, que les deux tiers au moins seront employés de nouveau sur des voies du réseau de l'Ouest, où la circulation est moins active que sur le chemin de Rouen, et que la plus grande partie du tiers restant pourra servir à l'établissement des voies de garage.

Les rails du chemin de Bâle à Strasbourg, pesant 25 kilogrammes seulement par mètre courant, et reposant sur des points d'appui écartés de $0^m,90$, étaient, après quinze ans d'usage, en grande partie hors d'état de servir. La compagnie de l'Est procède aujourd'hui à leur remplacement, et fera en sorte que la totalité soit renouvelée d'ici à trois années. Une partie sert à l'établissement de voies de garage, et une autre est vendue aux maîtres de forges, qui fournissent en échange de nouveaux rails du système Vignolles à raison de 100 francs la tonne, transport compris. Pendant fort longtemps on n'a fait passer sur les rails du chemin de Bâle que

des machines d'un poids modéré en rapport avec leur résistance. Ce n'est que depuis deux ou trois ans que l'on s'est servi de machines plus lourdes dont l'emploi a évidemment abrégé considérablement la durée de la voie. Le mouvement sur ce chemin n'a pas été très actif, les trains n'ont été que médiocrement chargés, et l'on n'a pas fait de service de nuit.

Quoique les rails de nos grandes lignes récemment construites soient beaucoup plus résistants que ceux du chemin de Bâle, et même que les anciens rails du chemin du Nord, les machines étant beaucoup plus lourdes et la circulation beaucoup plus active, il y a lieu de penser que la durée des rails ne sera pas beaucoup plus grande qu'elle ne l'a été au chemin de Bâle, soit quinze années environ. C'est le chiffre que nous admettrions pour calculer le capital à réserver chaque année pour les remplacer. Après ces quinze années, les rails auront perdu 100 francs par tonne seulement de leur valeur, puisque les maîtres de forges les remplacent à ce prix par des rails neufs, et se chargent d'en opérer le transport.

Quant aux traverses, leur durée dépend de la nature du bois employé et de la préparation qu'il a subie. Nous avons vu qu'en ce qui concerne les traverses en hêtre préparé par le procédé Boucherie l'expérience n'avait jusqu'à présent fourni aucun chiffre concluant; que la préparation ne paraissait pas exercer une grande influence sur la durée des traverses en chêne; que les demi-rondes ne duraient pas plus de cinq à six ans, mais que les traverses équarries de bonne qualité pouvaient durer en moyenne de douze à quinze années. Celles du chemin de Bâle, de médiocre qualité, étaient, pour la plupart, après quinze années d'usage, entièrement pourries; quelques-unes cependant résistaient encore et ont pu être employées sur des voies de garage. Les traverses du chemin de Strasbourg, de bonne qualité et d'un volume considérable, auront probablement une plus longue durée. Nous croyons prudent, toutefois, de ne pas porter la durée des traverses à plus de quinze ans en moyenne, et de supposer qu'après ces quinze années elles ont perdu toute valeur.

La dépense faite pour le remplacement des coins en bois est portée au chapitre des frais d'entretien courants.

Quant aux coussinets, on pourrait considérer leur durée comme presque indéfinie. Toutefois nous admettons qu'au moment du remplacement des rails on se trouvera conduit par l'expérience à en modifier le modèle, et que, par suite, il faudra changer les coussinets. Les maîtres de forges remplacent ces derniers par des coussinets neufs au prix de 50 francs par tonne. Les chevillettes, qui ont souffert beaucoup plus que les coussinets, et même que les rails, ne peuvent être remplacées qu'au prix de 300 francs la tonne.

En partant de ces différentes bases, et appliquant au calcul de la réserve les formules connues, formules qui, bien entendu, ont égard aux intérêts et intérêts des intérêts produits par les sommes réservées, on trouve, pour le chiffre de cette réserve annuelle, le chemin étant à deux voies, la somme de 1,500 francs par kilomètre.

Si on augmente le poids des rails, il faut tenir compte de l'augmentation en comptant 280 ou 300 francs par tonne.

Nous n'avons rien compté pour le remplacement des changements de voie, plaques tournantes, chariots de service, etc.; cette dépense peut être considérée comme dépense courante d'entretien. On peut aussi y avoir égard, en augmentant un peu le chiffre de la réserve : l'augmentation dépendra de la grandeur des gares et du mouvement.

Les rails et les traverses ne restent pas tous intacts pendant quinze années. On en remplace chaque année un certain nombre. Les rails des changements ou croisements de voie et des courbes de très-petit rayon durent incontestablement moins de quinze ans, et beaucoup de traverses de qualité inférieure ou plus exposées que d'autres à la destruction se trouvent pourries bien avant le terme assigné ; mais le nombre des éléments de la voie croissant rapidement en s'éloignant du moment de l'ouverture du chemin, nous avons pu admettre les moyennes qui ont servi de base à nos estimations sans nous écarter beaucoup de la vérité.

La nature du fer employé, le mode de fabrication des rails, la courbure plus ou moins prononcée des voies, l'emploi plus ou moins prolongé des rails pour les terrassements, le plus ou moins

d'inclinaison de la voie, inclinaison qui, lorsqu'elle devient considérable, nécessite l'usage fréquent du frein à la descente, etc., etc., sont, aussi bien que le poids des machines et l'activité de la circulation, des causes qui influent puissamment sur la durée du matériel fixe. On fera bien d'en tenir compte, si toutefois, après avoir établi le chiffre de la réserve en partant des hypothèses indiquées, ce chiffre se trouvait trop faible. Il est probable que la somme à ajouter pour le rendre suffisant ne serait pas considérable, et les administrations de compagnies qui l'auraient adopté ne pourraient être accusées d'imprévision.

On a proposé récemment en France et en Angleterre un grand nombre de modes nouveaux d'établissement de la voie ; nous allons passer en revue les principaux d'entre eux.

Nouveaux systèmes de voies. — L'efficacité des procédés de conservation des bois ne paraissant pas encore constatée avec assez de certitude, on a proposé divers modes de construction de la voie dans lesquels on supprime complétement l'emploi du bois.

Systèmes de plateaux-coussinets. — Sur le chemin de Versailles (rive gauche), sur celui de Chartres, et sur le chemin de Strasbourg, on a essayé de substituer aux traverses et coussinets ordinaires des plateaux en fonte, coulés d'une seule pièce avec le coussinet, et réunis par des tringles en fer rond destinées à maintenir l'écartement[1] (fig. 164).

Le poids de deux plateaux-coussinets avec la tringle d'écartement ne dépassant pas le tiers du poids d'une traverse ordinaire avec ses accessoires, il résulte de la légèreté et du peu de volume de cet ensemble, ainsi que de la faible surface de la base par laquelle les plateaux reposent sur le sol, que le système manque de stabilité. De ce manque de stabilité provient un excès d'élasticité ou de flexibilité qui nuit à l'entretien de la voie, et affecte principalement les plateaux de joints ; ceux-ci éprouvent plus de tassement et se brisent plus facilement que les plateaux intermédiaires. De plus, les trains prennent un mouvement vertical d'ondulation qui accroît

[1] Voir sur ce système de voies un mémoire de M. Lemoine, ancien ingénieur au chemin de Strasbourg, inséré dans le 2e cahier de la 6e année des *Mémoires de la Société des ingénieurs civils* (1853).

l'action destructive que leur passage exerce ordinairement sur la voie ; et, en raison du peu de profondeur à laquelle les plateaux sont enfouis dans le ballast, la gelée pénètre dessous et dérange leur assiette. Un autre inconvénient grave, c'est que les plateaux subissent insensiblement un mouvement inégal de translation ou un dérangement longitudinal qui amène la tringle de jonction dans une position oblique, la raccourcit en quelque sorte, et produit ainsi une torsion des rails qui rend la voie sinueuse et peut provoquer des mouvements de lacet dans la marche des trains. Un autre défaut des plateaux-coussinets consiste dans la tendance qu'ont les rails à prendre une inclinaison transversale différente de celle qu'on leur a donnée dans la pose ou le relevage, et que la libre action des véhicules semblerait devoir maintenir. Cette inclinaison devient plus grande, et il en résulte que la voie perd de sa largeur et que, les jantes des roues portant plus particulièrement sur le bord extérieur du champignon du rail, ce champignon s'écrase, ou au moins s'use plus rapidement que dans les circonstances ordinaires. L'une des causes de cet effet réside dans la pression exercée contre les tringles par le ballast, lorsque le tassement des plateaux s'opère ; les tringles se courbent, et, comme leur point d'attache est dans la joue du coussinet, elles font subir, en se courbant, un mouvement de bascule aux plateaux.

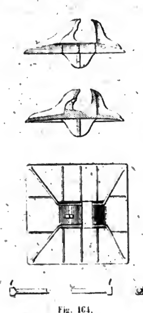


Fig. 164.

Les plateaux, du moins en leur supposant les dimensions qu'on leur a données jusqu'à ce jour, se brisent plus facilement que les coussinets, et la rupture d'un plateau est plus sujette à provoquer un accident que celle d'un coussinet, dont les fragments sont retenus à la traverse par les chevilles. Les plateaux nécessitent enfin l'emploi d'un ballast fin qu'il est souvent difficile de se procurer.

M. Lemoine, aujourd'hui ingénieur principal aux chemins de l'Ouest, pense que l'on pourrait remédier à la plupart des inconvénients des plateaux-coussinets en augmentant leur poids, et en remplaçant les tringles rondes par une tringle méplate posée de champ. Ce système serait coûteux et n'aurait peut-être pas tout le succès que M. Lemoine en attend.

Au chemin d'Orléans, on a essayé des coussinets-plateaux en fonte analogues à ceux employés sur le chemin de l'Est, sans obtenir de meilleurs résultats.

En Angleterre, où la fonte et le fer sont à très-bas prix, on a établi, dans ces dernières années, des supports du même genre, mais beaucoup plus lourds et plus rigides.

Système des cloches en fonte. — La figure 165 représente le mode de construction du chemin d'Alexandrie au Caire, établi dans ce système; les plateaux sont remplacés par des cloches reliées par une forte tringle en fer méplat boulonné sur une oreille venue de fonte sur chaque cloche.

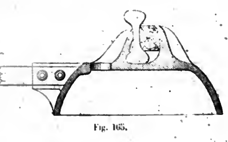


Fig. 165.

Autres systèmes variés. — En Belgique, on a mis à l'essai plusieurs systèmes de traverses à plateaux reliés, tantôt par des tringles, tantôt par des bouts de rails hors de service. Les ruptures fréquentes de ces plateaux ont rendu l'entretien fort dispendieux. On a également employé sur les chemins belges quelques traverses en fer laminé de sections diverses. On a remarqué que les coussinets fixés sur ces traverses étaient très-sujets à se rompre.

Nous citerons également une traverse en tôle pliée en forme de gouttière trapézoïdale qui figurait à l'exposition de Londres.

Plusieurs ingénieurs anglais ont proposé récemment un système de supports qui se rapproche manifestement de celui des longuerines. Ainsi M. Samuel, du chemin de Eastern-Counties, a établi un bout de voie dans lequel les rails sont pris entre deux pièces de

bois évidées de manière à embrasser ces rails jusque près du champignon (fig. 166). Ces pièces de bois sont logées dans une sorte de

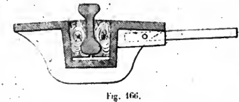


Fig. 166.

gouttière en fonte de 1 mètre de long, munie à sa partie supérieure de nervures qui portent sa largeur totale à 0^m,40 environ. Les supports de deux files de rails sont reliés par une tringle en fer fixée au milieu dans des logements venus de fonte sous les nervures du support. Pour chaque rail de 4^m,50, il y a trois gouttières semblables; les joints sont consolidés au moyen de platines. La figure 167 représente une

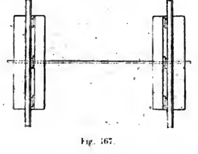


Fig. 167.

gouttière analogue inventée par Hoby. Elle diffère de la précédente en ce que le rail y est directement fixé au moyen de trois paires de coins (fig. 167), et en ce que la tringle d'écartement est méplate et posée de champ, fixée dans une mortaise au moyen d'une clavette et d'un goujon (figure 168). Cette disposition a l'avantage de s'opposer efficacement au devers.

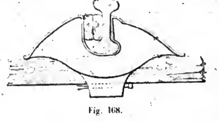


Fig. 168.

Rail Barlow. — Nous citerons enfin le nouveau rail de Barlow (fig. 169). Ce rail est de la forme dite rail à pont (bridge-rail); mais ses dimensions sont assez fortes pour qu'on puisse supprimer complétement les longuerines. Il repose directement sur le ballast; les joints sont formés de doublures en fer rivées sous les rails consécutifs, et reliés par une barre d'écartement en fer à cornières. La simplicité de ce système, dans lequel la voie,

y compris le ballast, coûte à peu près le même prix que la voie ordinaire, lui a valu un grand nombre de partisans en Angleterre.

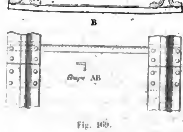


Fig. 169.

On reproche aux rails Barlow :

1° D'être moins élastiques que les rails ordinaires, puisqu'ils reposent sur le ballast, tandis qu'entre les points d'appui les rails ordinaires sont, pour ainsi dire, suspendus au-dessus, et qu'à l'endroit des points d'appui ils reposent sur des traverses en bois qui sont élastiques ;

2° D'exclure, jusqu'à un certain point, l'emploi des pierres cassées comme ballast ;

3° De se détruire par les effets de l'instabilité de la voie, et, par suite, du relâchement dans les assemblages et de la mobilité de tous les éléments ;

4° D'être beaucoup plus difficiles à fabriquer que les rails ordinaires, surtout avec les fers durs qui doivent entrer dans la composition des rails pour résister aux frottements ;

5° De s'écraser ;

6° De ne pas se prêter à la dilatation et d'être exposés par conséquent à se courber dans les temps chauds ;

7° De ne pouvoir être utilisés pour les travaux de terrassement, comme les rails ordinaires.

Les partisans de ce nouveau rail répondent :

1° Que la forme même du rail Barlow (forme en selle) doit lui donner l'élasticité nécessaire, et ce qui tendrait à le prouver, c'est qu'on a observé en Angleterre, sur une voie Barlow, que les trains, lors de leur passage, produisent un bruit sourd qui n'est pas désagréable, et qui indique une absence de trépidation, preuve d'élasticité ;

2° Que le nombre des assemblages sur une voie ordinaire est plus grand que sur le rail Barlow :

3° Que l'on n'a pas remarqué en Angleterre que les rails Barlow fussent sujets à s'écraser;

4° Que l'enfouissement du rail Barlow dans le ballast s'oppose à ce qu'il s'échauffe et se dilate; que M. Barlow avait, dans l'origine, relié les rails, tous les 90 mètres, au moyen de boulons traversant des trous ovales, mais que la dilatation n'ayant été sur cette distance que de 3 à 4 millimètres, il avait supprimé les boulons pour les remplacer par des vis;

5° Que M. Brunel a affirmé, d'après une expérience de deux années, que le rail Barlow ne se détériorait pas plus promptement que les rails ordinaires.

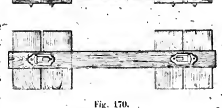
M. Barlow a introduit quelques modifications dans son système. Il a remplacé les barres d'écartement en cornières par de petites traverses en bois, au nombre de trois par rail de 5 à 6 mètres de longueur. Il renonce ainsi à un des principaux avantages de son système, celui d'exclure complétement le bois de la composition de la voie.

La compagnie du Midi, qui a employé le rail Barlow sur une grande échelle, semblait l'avoir, il y a quelque temps, abandonné, et ses ingénieurs déclaraient y avoir renoncé uniquement à cause de la difficulté que l'on éprouvait à le fabriquer de bonne qualité. Ils soutenaient d'ailleurs et soutiennent encore aujourd'hui que les reproches qu'on lui adressait, à l'exception de celui qui concernait la qualité du métal, n'étaient nullement fondés. Ils commencent de nouveaux essais avec des rails fabriqués en Angleterre, et d'une qualité, dit-on, supérieure à celle des rails français. Il paraîtrait donc qu'à leurs yeux la qualité du fer était le seul défaut du rail Barlow tel qu'ils l'avaient employé d'abord. On s'étonne alors qu'en Angleterre même, où ce rail avait trouvé dans l'origine un grand nombre de partisans, il ait été presque entièrement abandonné.

Une des plus grandes objections à son emploi, objection à laquelle il nous semble difficile de répondre, c'est que, pour former le noyau de ballast qui doit remplir le rail, il faut un ballast d'une qualité particulière que l'on ne rencontre pas toujours; la pierre concassée, par exemple, ne pourrait être employée avec le rail Barlow, et cependant c'est, dans un assez grand nombre de localités, la

seule variété de ballast que l'on puisse se procurer à un prix modéré. Nous croyons aussi que l'on trouvera les mêmes difficultés pour ployer le rail Barlow destiné à la pose des courbes de petits rayons que celles qu'on a rencontrées pour courber le rail Brunel, et que sur la terre des remblais pour la pose des voies de terrassement il sera d'un moins bon usage que le rail à champignons.

Système Pouillet. — Parmi les nouveaux systèmes de construction de la voie, il faut distinguer le système Pouillet, qui a été adopté exclusivement pour la construction du chemin de ceinture. Dans ce système, les traverses sont en bois vif équarri. Elles sont toutes de mêmes dimensions ; leur épaisseur est de 0^{m},06 seulement, leur longueur de 2^{m},10 et leur largeur de 0^{m},16 à 0^{m},20. Elles sont recouvertes d'un vernis appelé *vernis-railway*, qui en prolonge la durée. Ces traverses reposent, par leurs extrémités, sur des plateaux carrés en bois, nommés tables de pression, de 0^{m},05 d'épaisseur et de 0^{m},60 de côté, généralement composés de deux pièces juxtaposées, et réunis aux traverses par des boulons (fig. 170).


Fig. 170.

Les coussinets ont une forme particulière qui permet de donner au sabotage et à la pose la plus grande précision. Ils sont fixés sur les traverses par les boulons qui réunissent les traverses elles-mêmes aux tables de pression.

Les voies que l'on obtient avec ce nouveau mode de construction présentent plus de précision et de stabilité que celles établies d'après le système ordinaire ; aussi le roulement des convois est-il très-doux. Le matériel roulant n'éprouve plus de secousses violentes et la traction parfaitement régulière n'a plus à vaincre de résistance étrangère à celle du poids des convois.

Le système Pouillet a été employé sur les chemins de l'Ouest, de l'Est, de Ceinture et du Nord.

Nous avons fait auprès des ingénieurs de ces différentes lignes une enquête qui se résume de la manière suivante :

Au chemin de l'Ouest l'expérience n'a été faite que sur deux et demi kilomètres de longueur; mais sur ces deux et demi kilomètres le sol était de nature variable, et la voie Pouillet était juxtaposée à une voie du système ordinaire. On a tenu un compte exact des frais d'entretien depuis 1850, époque à laquelle cette portion de chemin a été posée. Voici quelles ont été les dépenses :

	Système Pouillet.	Système ordinaire.
1850.	696f,25c	2,031f,25c
1851.	721 25	1,138 »
1852.	115 »	611 25
1853.	457 75	414 75
1854.	282 »	835 75
1855.	680 50	609 50
1856.	581 50	671 »
1857.	254 »	422 »
Total. . . .	3,766f,25c	6,731f,50c

Le relevé des frais d'entretien de ces deux systèmes est intéressant; mais il est à regretter que l'expérience n'ait pas été faite sur une plus grande échelle. Nous devons faire observer aussi que la voie ordinaire était posée sur des traverses cubant 0m,080 seulement. L'entretien en eût été moins coûteux avec des traverses cubant 0m, 110, comme celles du chemin de Strasbourg.

L'ingénieur de l'Ouest approuve le système Pouillet; mais il pense qu'il faudrait augmenter un peu l'épaisseur des tables de pression. Il recommande d'écarter les bois qui contiendraient une quantité même très-faible d'aubier.

L'ingénieur en chef directeur nous écrit qu'il a été très-satisfait de la voie Pouillet, pour laquelle les frais d'entretien sont inférieurs à ceux de la voie ordinaire; et que, s'il ne l'a pas employée jusqu'à présent sur une grande échelle, cela tient à la crainte que des bois d'aussi faible volume, malgré leur qualité supérieure, ne durent que peu de temps, et surtout à des circonstances indépendantes de sa volonté.

Au chemin de l'Est, l'expérience n'a pas été faite dans des conditions telles que l'on puisse en tirer des conclusions utiles.

Le directeur du chemin de Ceinture déclare que l'emploi des traverses à table de pression de M. Pouillet a, sur ce chemin, donné à la voie une stabilité que, dans sa pensée, on n'aurait pas obtenue aussi promptement avec les traverses du système ordinaire. Il ne partage pas l'opinion émise par l'inventeur que l'on peut, dans ce système, réduire l'épaisseur de la couche de ballast. Pour les châssis de changements et croisements de voie il préfère les traverses du système ordinaire.

Les traverses Pouillet lui avaient paru résister moins bien, dans les courbes de petit rayon, à la pression latérale que ces dernières; mais, en apportant une légère modification à son système, M. Pouillet a rendu la voie aussi solide qu'on pouvait le désirer.

La compagnie du Nord s'est montrée pendant longtemps tellement satisfaite du système Pouillet, qu'elle a employé, de 1855 à 1855, 236,000 traverses à table de pression; mais aujourd'hui elle n'a plus la même prédilection pour ce système de voies. Les ingénieurs prétendent que non-seulement il n'y a pas économie dans les frais de construction, mais encore qu'il n'est pas démontré que les frais d'entretien soient moins élevés que dans le système ordinaire. Ils viennent, toutefois, de faire débiter un certain nombre de traverses pour en faire l'essai avec le rail à patin.

On a manifesté la crainte de voir les traverses et les plateaux de ce système pourrir rapidement, bien qu'en bois dépourvu d'aubier, à cause de leur faible épaisseur et de l'espèce d'assemblage que présente la réunion des plateaux à la traverse. On a pensé aussi qu'il pourrait être difficile de *rafraîchir* le logement des coussinets sur la traverse, comme cela se fait dans le système actuel, quand ce logement aura été mâché par le passage d'un grand nombre de convois. Il a été constaté toutefois que des voies Pouillet, posées au chemin du Nord depuis plus de sept ans, n'avaient subi aucune altération.

Reste à savoir si leur durée sera de douze ou quinze ans, comme celle des traverses ordinaires de bonne qualité, ou si, la pourriture commençant à les atteindre, elles ne seront pas plus sujettes à se briser que ces dernières.

On a enfin objecté au système Pouillet qu'en cas de déraillement les traverses seraient bien plus exposées à la rupture que les traverses ordinaires, et qu'ainsi la voie Pouillet serait plus dangereuse.

De ce qui précède, il serait difficile de tirer des conclusions entièrement favorables ou défavorables au système Pouillet. Nous croyons qu'il est intéressant de continuer à l'expérimenter, et qu'on ne pourra le juger définitivement que dans quelques années.

Système Barberot. — Nous terminerons cette description par l'analyse de l'invention de M. Barberot. Dans ce système (fig. 171), le coussinet n'existe plus. Le rail repose directement et sans intermédiaire sur la traverse dans une entaille de 1 à 2 centimètres de profondeur pratiquée suivant la mouture du champignon, et il est soutenu de chaque côté par deux cales ou coins en bois *de bout* (chêne ou acacia) de $0^m,15$ de long sur $0^m,10$ d'équarrissage et $0^m,12$ pour les joints. Ces cales sont coupées selon la forme du rail du côté où elles s'arc-boutent contre lui, et s'appuient de l'autre côté dans l'entaille suivant un angle obtus qui permet de les serrer et de les retirer sans efforts. Cette entaille a quelques millimètres de moins en longueur que la cale elle-même, qui, par cette disposition, jouit de toute sa puissance de serrage. Un léger intervalle est ménagé entre la cale et la traverse dans la partie qui touche au rail, afin de permettre d'augmenter le serrage à volonté. Pour prévenir les fentes longitudinales qui pourraient survenir par suite de la pression qu'elle exerce ou par l'effet de la dilatation, et lui conserver toute sa force quand même ces fentes se manifesteraient, la cale est saisie par une bride en fer dont les mentonnets maintiennent les flancs; une vis à bois dont les dimensions et les filets ont été spécialement étudiés pour cet objet traverse cette bride, ainsi que la cale, et pénètre jusqu'au cœur même de la traverse. La cale extérieure est plus épaisse que l'intérieure et peut s'élever jusque sous la tête du rail; la cale intérieure reste un peu plus bas, afin de ne pas se trouver en contact avec le bourrelet des roues.


Fig. 171.

Les principaux avantages que M. Barberot attribue à son système se résument de la manière suivante : la voie est plus douce que les voies ordinaires; elle est moins coûteuse d'établissement, l'entretien en est plus facile, les vis ne sont pas exposées à se soulever et à se détacher comme les chevillettes; elles n'ont pas d'autres fonctions à remplir que celle de tenir la cale à sa place et de la serrer à volonté contre le rail; les rails, dans le système ordinaire, glissent le long des coins, selon la direction du mouvement des convois. Dans le système Barberot, au contraire, plus la charge qui viendra fouler les rails sera pesante, et plus ils seront étreints entre les deux cales, qui agissent sur eux comme deux coins. La durée des cales n'est pas à comparer à celle des coins : ceux-ci sont placés dans des conditions beaucoup moins favorables; leur volume diminuant, leur tête étant écrasée par les coups de marteau (chasse-coin) dont on est obligé de faire un fréquent usage pour les maintenir en place, et le bois qui les compose se fendant sous l'action de ces marteaux, ils sont, au bout de très-peu de temps, hors de service, ce qui n'arrive pas avec les cales. Enfin les rails, portant, dans le système Barberot, sur toute la largeur de la traverse, ont une plus grande assiette, et la portée intermédiaire du rail, pour des écartements égaux de traverses, est moins longue. Il en résulte que la flexion qui s'opère dans chaque intervalle, au passage des trains, est moins sensible, ce qui permettrait de donner, pour une flexion égale, un plus grand écartement aux traverses.

Les essais du système de voie de M. Barberot remontent déjà à plusieurs années. En 1853 il en a été posé 100 mètres sur la ligne de Strasbourg, entre Paris et la Villette; depuis, on en a établi 5 kilomètres au chemin de fer d'Orléans, et on en a fait l'application en grand sur le chemin de fer de Fécamp et sur l'embranchement de Creil à Saint-Quentin.

Les essais des lignes de Strasbourg et d'Orléans ont été faits en employant le système pour les supports intermédiaires et pour ceux de joint; ces derniers ont donné les mauvais résultats auxquels on devait s'attendre : la pénétration des traverses et des cales par les extrémités des rails a produit rapidement des désaffleurements

considérables : au chemin d'Orléans, on est sur le point de démonter les supports de joints.

Sur la ligne de Fécamp et sur l'embranchement de Saint-Quentin, on a limité aux supports intermédiaires l'emploi du système Barberot, en éclissant les joints en porte à faux. De cette façon on a obtenu une voie très-douce et très-stable. Les rails reposant sur toute la largeur de la traverse, le porte à faux est moindre qu'avec les coussinets en fonte : en conservant le même espacement de traverses, il peut être réduit à $0^m,30$ aux joints et à $0^m,70$ entre les supports intermédiaires.

Le prix de revient du système Barberot, pour fournitures et main-d'œuvre, est d'environ 5 fr. par traverse ; celui des coussinets ordinaires avec leurs accessoires est de 7 fr. C'est donc une économie de 2 fr. par traverse.

Les dépenses d'entretien ne peuvent être comparées aussi facilement, en raison de la date récente des essais. Au chemin d'Orléans on croit avoir remarqué que les rails glissent plus que dans les coussinets en fonte coincés en sens convenable; mais il paraît qu'on a apporté de la négligence dans le choix du bois des cales et dans le sabotage. Au chemin de Strasbourg, on n'a pas observé que les vis se soient desserrées depuis 1855; il est probable, d'après cela, qu'en employant pour les cales du bois bien sec, et en mettant du soin dans le sabotage, le serrage serait au moins aussi bon que celui obtenu avec les coins ordinaires.

On est également réduit aux conjectures en ce qui concerne le renouvellement des matériaux de la voie. Il est présumable que la durée des rails doit être augmentée à cause de la douceur de la voie, qui amortit les vibrations.

Quant aux traverses, il est probable, au contraire, que leur durée sera moindre. Peut-être y aura-t-il, à la longue, pénétration du rail dans la traverse, comme cela a lieu pour les coussinets ordinaires, dont la surface de semelle, déduction faite des vides, est plus considérable que celle de contact du rail dans le système Barberot; cette dernière surface ne peut guère dépasser $0^m,015$, ce qui, pour une pression de 5,000 kilog., résultant du passage des machines, correspond à 33 kilog. par mètre carré dans le sens perpendicu-

laire aux fibres de la traverse. Au chemin de fer de Fécamp, où l'on a adopté un rail américain de $0^m,085$ de semelle, cet inconvénient est considérablement atténué. Il reste toutefois l'objection relative à la tenue de la vis, laquelle exige que le bois de la traverse soit en bon état, tandis que la chevillette ordinaire, n'étant pas fatiguée par le serrage du rail, peut tenir dans des bois dont la décomposition est avancée.

En résumé :

1° Les supports de joint du système Barberot sont mauvais;

2° On a une voie très-douce et très-stable en combinant les supports intermédiaires avec l'emploi des éclisses;

3° Les dépenses de premier établissement sont réduites de 2 fr. par traverse;

4° Les dépenses d'entretien ne peuvent encore être estimées exactement; mais rien ne fait pressentir qu'elles doivent être plus considérables qu'avec les coussinets ordinaires;

5° La durée des rails paraît devoir être augmentée par l'emploi du système Barberot; mais celle des traverses sera certainement moindre qu'avec les coussinets ordinaires, et la fixité de l'assemblage par les vis semble problématique. Les éléments de comparaison ne peuvent être obtenus qu'après une longue expérience.

CAHIER DES CHARGES

Il nous reste à indiquer les conditions de fabrication que l'on impose aux industriels qui entreprennent la fourniture des rails, coussinets, chevilles, qui entrent dans la construction de la voie. Ces conditions sont stipulées dans un cahier des charges annexé à chaque marché.

Les modifications apportées jusqu'à ce jour dans la forme des rails n'ont pas augmenté sensiblement leur résistance, et il serait aussi incommode que coûteux d'employer des rails plus pesants que ceux en usage. Le rapprochement des points d'appui est dispendieux. *Toutefois une des questions les plus importantes dont les ingénieurs de chemin de fer ont à se préoccuper aujourd'hui est celle de la consolidation de la voie et de l'augmentation de sa durée,*

car, eu égard à l'accroissement du poids des machines et des véhicules de toute nature, on doit craindre que les rails tels qu'ils sont aujourd'hui fabriqués ne s'usent rapidement. *C'est surtout dans l'amélioration de la qualité du métal qui compose les rails ou dans sa transformation et dans le perfectionnement des procédés de fabrication qu'il faut chercher la solution du problème.*

On conçoit par conséquent combien il importe que le cahier des charges soit bien étudié et convenablement rédigé; il ne faudrait pas croire toutefois qu'il suffise d'avoir imposé au fabricant ou fournisseur un cahier des charges sévère pour en obtenir de bons résultats. Il faut avant tout traiter avec un fabricant d'une probité rigoureuse qui puisse se procurer sans trop de difficultés les matières premières de bonne qualité et lui accorder un prix rémunérateur. Autrement on s'expose à des procès toujours fâcheux, lors même qu'on les gagne.

Voici maintenant quelles sont les principales conditions imposées par les cahiers des charges les plus nouveaux[1].

Rails. — Cahier des charges actuel. — Les rails doivent présenter exactement la longueur et le profil adoptés par les ingénieurs de la ligne. A cet effet, on remet aux fournisseurs des gabarits en tôle d'acier en tout semblables à ceux qui servent à la réception.

On fixe la longueur normale des rails et on indique la tolérance, qui ne doit pas dépasser 1 millimètre 1/2 en plus ou en moins. Néanmoins, comme il arrive fréquemment que des rails, parfaitement sains dans la plus grande partie de leur longueur, présentent des défauts à leurs extrémités, on admet qu'une certaine fraction de la fourniture, un vingtième par exemple, pourra être acceptée à des longueurs moindres. Pour les rails de $4^m,50$ du chemin de Paris à Strasbourg, on a admis les deux longueurs de $3^m,375$ et de $4^m,40$. Ces rails trouvent leur emploi dans les courbes, où la file intérieure présente un développement moindre que la file extérieure et dans les raccordements des voies de garage. Au chemin du Nord, la longueur normale des rails à patin étant de 6 mètres, la Compa-

[1] On trouvera les cahiers des charges, tant pour la fourniture du matériel fixe que pour celle du matériel roulant, dans le second volume de l'intéressant *Manuel des chemins de fer*, publié récemment par M. Wilh.

gnie admet un vingtième de barres plus courtes, ayant soit 5^{m},06, soit 4^{m},12 de longueur, la tolérance sur les longueurs fixées étant, quelle que soit la longueur de la barre, de 1 millimètre 1/2 seulement.

Il est tellement important qu'il n'y ait aucune défectuosité dans la forme du rail, que l'ingénieur en chef ne doit se reposer sur aucun de ses agents, de quelque ordre qu'il soit, du soin d'approuver les premiers échantillons fournis par le fabricant ; il doit exiger que des portions des premiers rails sortis des laminoirs lui soient envoyées et que l'on ne commence la fabrication sur une grande échelle que lorsqu'il aura fait parvenir son assentiment par écrit au directeur de l'usine.

Les rails doivent être parfaitement soudés et exempts de toute espèce de défauts, tels que *pailles*, *stries*, *criques* ou *brûlures*. Les champignons surtout doivent être parfaitement sains et unis. On ne doit tolérer que des défauts insignifiants dans leur tige.

Les abouts des rails doivent être coupés de manière à présenter une section parfaitement nette, perpendiculaire à l'axe des rails ; ils ne doivent pas être déformés. Pour obtenir cette section, on se sert de scies circulaires ou de burins. Il importe de s'assurer que l'usine est en possession de ces outils. Les rails doivent être parfaitement dressés et dégauchis à l'usine.

La figure 172 représente la coupe d'un paquet préparé pour être converti en rails. Les deux barres *a a*, *b b*, appelées *couvertures*, et qui formeront plus tard les champignons du rail, doivent être en fer qui a subi préalablement un premier corroyage, fer n° 2. Ces deux barres doivent être chacune d'un seul morceau.

Fig. 172.

Les barres intermédiaires se font en général en fer *puddlé* brut, n° 1 ; elles sont souvent en deux ou même trois pièces sur la largeur, mais on ne doit pas admettre de joints dans la longueur.

La proportion du fer corroyé au fer puddlé brut est ordinaire-

ment indiquée dans le cahier des charges. Elle est, dans les rails à patin du chemin du Nord, de 1/4 au moins du poids des paquets, et, dans les rails à simple champignon du chemin de Mulhouse, de 1/5.

Il est reconnu que les fers de nature différente se soudent difficilement entre eux ; aussi l'emploi de deux qualités de fer dans la composition des rails nous paraît-il être la principale cause des exfoliations qui les mettent hors de service longtemps avant que l'usure ait pu amener ce résultat.

Afin de pouvoir s'assurer de la résistance des rails, on doit imposer aux fabricants des essais que l'on répète aussi souvent qu'on le juge convenable. Ces essais se font par simple pression ou par choc.

On a essayé les rails par pression en les posant sur deux supports écartés de 1m,125, et leur faisant supporter en leur milieu une charge de 10,000 kilogrammes. Après l'enlèvement de la charge, la flexion qu'avait subie le rail du chemin de l'Est, pesant 37 kilogrammes 1/2 devait entièrement disparaître.

Au chemin du Nord, les rails à patin, du poids de 37 kilogrammes par mètre courant, et placés de champ sur deux points d'appui espacés de 1m,10, doivent supporter pendant cinq minutes, au milieu de l'intervalle des points d'appui, une pression de 12,000 kilog., sans conserver de flèche sensible après l'épreuve.

La même barre, dans la même position, doit supporter, pendant cinq minutes sans se rompre, une charge de 30,000 kilogrammes. On peut augmenter ensuite la pression jusqu'à la rupture.

Les essais par pression ont l'avantage de ne pas altérer les rails ; mais ils ne donnent aucune garantie de résistance au choc. Un rail peut fort bien présenter toute l'élasticité nécessaire pour supporter ce genre d'essai, et cependant se briser en service par l'effet des secousses qu'il reçoit au passage des locomotives.

Les essais par choc ont été faits sur les rails belges simple T, du poids de 27 kilogrammes, en laissant tomber d'une hauteur de 4 mètres un mouton pesant 200 kilogrammes. Les rails ainsi essayés étant généralement altérés et devant être remaniés, on ne faisait subir l'essai qu'à un petit nombre de rails pris au hasard dans chaque livraison.

Au chemin du Nord (français), chacune des deux moitiés de la barre cassée à la suite de l'épreuve indiquée plus haut, placée de champ sur deux supports espacés de $1^m,10$, doit supporter sans se rompre le choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant de 2 mètres de hauteur sur la barre au milieu de l'intervalle des points d'appui. Dans ce dernier cas, les deux supports sont en fonte, et reposent par l'intermédiaire d'un châssis en bois de chêne sur un massif de maçonnerie de 1 mètre d'épaisseur au moins établi sur un terrain solide.

Si l'une des barres essayées ne résiste pas aux épreuves, on les continue sur un plus grand nombre de barres, et, si plus du dixième des barres essayées ne résiste pas, la série entière dont ces rails proviennent est rebutée.

Le rail, après avoir été soumis avec succès à ces épreuves, n'est pas toujours sans défauts. Les différentes barres de fer dont il est formé peuvent avoir été mal soudées. Ce vice de fabrication et d'autres encore ne se manifestent qu'à la longue. On exigeait du fabricant, anciennement, une année seulement de garantie, pendant laquelle il devait remplacer tout rail avarié par suite de mauvaise qualité. Les nouveaux cahiers des charges de la Compagnie du Nord et de celle de l'Est stipulent trois années. Au chemin du Nord, les pièces défectueuses restent dans les mains de la Compagnie, et le fabricant paye une indemnité calculée sur le prix de 120 fr. par tonne.

Le cahier des charges de la Compagnie du Nord stipule que les rails doivent porter des marques en relief bien apparentes indiquant à la fois l'usine, l'année et le mois de la fabrication. Ces marques résultent d'une gravure faite dans la cannelure du cylindre; elles sont nécessaires pour rendre possible l'application de l'article relatif au délai de garantie.

On n'accorde sur le poids des rails qu'une tolérance de 1 pour 100 en plus ou en moins pour la fourniture tout entière, et de 2 pour 100 sur chaque rail. Les rails trop légers sont rebutés; ceux qui sont trop lourds sont payés à raison du poids normal augmenté de la tolérance.

Afin d'être assuré que les clauses du cahier des charges sont

réellement suivies, un employé spécial doit séjourner à l'usine pendant tout le temps que dure la fabrication; il doit visiter scrupuleusement tous les rails et les poinçonner quand il les reconnaît bons.

Observations critiques. — La mauvaise qualité des rails tenant souvent au défaut de soudure des portions de trousses composées de fer de numéros différents, on a pensé qu'en composant les trousses uniquement de fer n° 2, on éviterait ce défaut, et que l'augmentation du prix d'achat des rails serait largement compensée par leur longue durée. Des ingénieurs expérimentés ont émis l'opinion que non-seulement ces rails, fabriqués exclusivement avec du fer n° 2, seraient fort chers, mais encore qu'ils seraient trop mous, et ils proposent de composer les trousses de fer puddlé seulement. Il paraît qu'en Angleterre, en Belgique et en Allemagne, on est parvenu à obtenir de bons rails de cette manière.

Le succès, selon nous, dépend de la qualité des fers employés. Dans telle usine le fer puddlé produira d'excellents rails, tandis que, dans d'autres, il faudra l'associer au fer n° 2 ou employer uniquement ce dernier. *Il ne serait donc pas convenable d'imposer le même cahier des charges à toutes les usines; il faudrait, avant de le rédiger, étudier la nature des minerais, la nature du charbon et les procédés de fabrication de l'usine.* C'est ainsi que, dès l'origine, la compagnie de l'Est a autorisé l'emploi de deux plaques juxtaposées pour la couverture dans les rails provenant de l'usine des Hayange, tandis qu'elle exigeait une plaque unique des autres usines.

M. Couche fait mention, dans un Mémoire qu'il a publié récemment dans les *Annales des mines*, de rails à champignon fabriqués dans le pays de Galles, entièrement en fer n° 1, et de rails américains provenant des usines du Hanovre, dans lesquels on ne s'est servi de fer corroyé que pour les bords du patin.

Le même ingénieur blâme les compagnies de l'espèce de tutelle sous laquelle elles placent les usines en leur prescrivant un certain mode de fabrication. Il voudrait qu'on imposât des conditions de réception pures, une garantie prolongée surtout; qu'on exigeât de bons rails, en un mot, sans s'inquiéter des procédés usités pour les fabriquer. Il pense que la concurrence et le soin de sa réputation seront toujours pour le fabricant un mobile suffisant.

Nous croyons, comme M. Couche, que les compagnies n'ont peut-être pas, en général, laissé jusqu'à présent assez de latitude aux fabricants pour modifier leurs procédés de fabrication; mais nous ne voudrions pas, comme le savant professeur, leur laisser une liberté absolue de travailler sans contrôle. Nous pourrions citer certain fabricant en France dont les usines sont placées de telle façon, qu'elles n'ont pas à redouter une concurrence bien sérieuse de la part des autres forges pour la fourniture de certaines lignes. Il ne reste alors pour ce fabricant, comme stimulant, que le soin de sa réputation. Mais il se peut que le désir d'augmenter ses bénéfices ou de hâter les livraisons l'entraîne, malgré l'envie qu'il peut avoir de conserver sa réputation, à négliger la fabrication. On sait que les essais, tels qu'ils ont lieu habituellement, ne garantissent pas contre les défauts de soudure, que quelques fabricants se refusent avec obstination aux essais par le choc, que la cassure ne fournit que des indices incertains sur la qualité, et qu'enfin l'application de la garantie n'est pas toujours sans difficultés. Supposez d'ailleurs qu'un rail mal fabriqué vienne à casser et occasionne un accident grave, la compagnie pourra-t-elle faire peser la responsabilité sur le fabricant? Comment prouvera-t-elle que l'accident doit être attribué à la rupture du rail? Il vaut mieux prévenir que punir. Aussi sommes-nous d'avis que les compagnies feront bien de continuer à imposer aux fabricants certaines conditions de travail, sauf à modifier ces conditions sur les observations du fabricant et à se réserver la faculté d'entretenir des agents à l'usine, en prescrivant à ces agents une surveillance plus ou moins sévère selon qu'elle paraîtra plus ou moins utile. Si pour les essieux on se montre quelquefois moins exigeant que pour les rails, c'est que les essieux proviennent ordinairement d'usines qui ont une vieille réputation bien établie, et qui ne peuvent employer que des fers de première qualité. Il n'en est pas de même pour les rails.

La texture des rails exerce une grande influence sur leur qualité. Nous avons employé sur le chemin de fer de l'Est d'excellents bandages provenant de l'usine anglaise de Lowmoor, et qui, dans leur cassure, présentaient un mélange uniforme de grain et de nerf dénotant un fer en même temps dur et tenace. Il serait à désirer

que l'on pût obtenir la même cassure pour les rails ; mais la fabrication en serait trop coûteuse : aussi la cassure des rails est-elle en général grenue. Dans les rails à patin les mieux fabriqués, la cassure du champignon est entièrement grenue, et celle du patin est fibreuse, les deux cassures passant de l'une à l'autre par gradation.

L'instruction pour la construction des chemins de fer bavarois s'exprime de la manière suivante sur la texture et la nature du fer :

« La disposition prise, dans les dernières années, de n'employer pour les têtes des rails que du fer à grain, et pour les bases que du fer fibreux, a été trouvée très-favorable et doit être conservée à l'avenir ; tandis que la fabrication ancienne, où la tête se composait jusqu'à $0^{m},05$ de fer corroyé sous le marteau-pilon, et où le restant du rail n'était formé que de fer puddlé, a été reconnue vicieuse, en ce sens que les fers de deux natures diférentes ne sont pas toujours parfaitement soudés. Il devient donc utile de multiplier les observations, pour savoir s'il convient de renoncer entièrement au fer corroyé pour la formation de la tête des rails, ou s'il est avantageux de s'en servir pour toute la partie supérieure à l'axe neutre. »

M. Curtel, ancien élève de l'École centrale, a lu à la Société des ingénieurs civils un intéressant Mémoire sur la fabrication des rails. Il entre dans beaucoup de détails que nous ne pouvons reproduire dans ce traité élémentaire. Son travail se trouve résumé dans l'énoncé des conditions qu'il propose d'imposer à l'avenir aux maîtres de forges. Voici ces conditions :

« Les rails doivent présenter une très-grande dureté pour résister au frottement des roues et une grande ténacité pour supporter les véhicules sans se déformer entre les points d'appui. Pour satisfaire à ces conditions, les surfaces de roulement seront à grains, tandis que le corps du rail sera nerveux.

« La fonte au coke sera de bonne qualité : elle devra être convenablement puddlée. Le fer brut qui en proviendra ne devra pas sortir des cylindres en barres ayant moins de 80 centimètres de longueur. On fabriquera deux échantillons de fer brut, l'un de $0^{m},081$ de large, l'autre de $0^{m},054$.

« Pour la fabrication des rails, le maître de forges aura le choix d'employer du fer corroyé et du fer brut ou du fer brut seul.

« Le paquet destiné à former la couverte sera composé uniquement avec du fer à grains; il sera *laminé à plat*, c'est-à-dire que les plans de soudure de diverses mises seront parallèles à la largeur de la couverte. La couverte laminée sera complétement à grains; elle aura $0^m,160$ de large sur $0^m,012$ à $0^m,014$ d'épaisseur ($0^m,014$ est un maximum qui ne devra jamais être dépassé). Les couvertes seront soumises à une réception provisoire. Les couvertes nerveuses seront rebutées et cisaillées immédiatement sous les yeux de l'agent. Cette première réception n'engagera en rien la Compagnie.

« Pour le paquet destiné à former le rail, on placera immédiatement sous la couverte des bandelettes qui pourront être en fer à grains. Le reste du paquet sera composé avec du fer aussi nerveux que possible.

« Les deux mises qui se trouvent sous la couverte seront formées avec des barres d'une seule espèce; on tolérera des bouts dans les autres mises. Ces bouts, provenant du cisaillage du massiot, devront être affranchis à l'une de leurs extrémités et avoir au moins 10 centimètres de longueur. On ne tolérera pas dans le paquet des *bouts écrus* ayant moins de $0^m,80$ de longueur. On croisera avec soin les joints que formeront les divers morceaux de fer composant les mises dont nous venons de parler. Le fer brut ayant $0^m,081$ et $0^m,054$ de largeur, on croisera également les joints dans les mises du paquet. Ainsi on ne tolérera que deux mises de $0^m,081$ ou de $0^m,054$, l'une au-dessus de l'autre.

« Si on n'emploie que du fer brut, on placera en haut et en bas du paquet des mises en fer à grains; le reste du paquet sera composé avec du fer brut nerveux. On s'arrangera de manière à ne point avoir de joints à la surface du roulement.

« La fabrication des rails sera aussi parfaite que possible. Les rails pailleux et dessoudés seront rebutés. Quand en frappant à l'extrémité d'un rail (à la réunion de la couverte et du fer brut), il se montrera une trace de dessoudure, n'eût-elle que de 2 à 3 millimètres, le rail n'en sera pas moins refusé. Les arrachements des

bandelettes qui se trouvent sous la couverte seront également une cause de rebut. On tolérera les *criques de chaleur* qui n'attaqueront pas la surface du roulement.

« Autant que possible, les rails seront coupés à froid au moyen des tours, et à une distance de $0^{m},25$ à $0^{m},30$ des deux bouts. Le bout sortant le premier du laminoir devra toujours être plus long que l'autre. Tout rail n'ayant pas de 50 à 60 centimètres en plus que sa longueur normale devra être coupé pour une autre longueur.

« On tolérera le coupage à chaud au moyen de scies disposées de manière à couper les deux bouts à la fois. Les bavures produites par la scie seront enlevées au moyen d'une fraise ou d'une cisaille. Les rails sciés à chaud devront donc avoir au moins 10 millimètres de plus que leur longueur normale.

« Il est formellement interdit de couper un bout d'abord et de réchauffer l'autre ensuite pour le couper, soit à la scie, soit à la tranche.

« Pour le dressage et la longueur, imposer les mêmes conditions que celles qu'on exige aujourd'hui. »

Il résulte de l'extrait que nous venons de donner du Mémoire de M. Curtel que cet ingénieur attache une grande importance à la composition des paquets. Il ne paraît pas douter que le fer à grains ne puisse se souder parfaitement au fer nerveux si le paquet est suffisamment chauffé. C'est ce que contestent des ingénieurs expérimentés. Nous avons nous-même employé des bandages de roues composés en partie de fer à grains et en partie de fer nerveux, et la soudure, malgré les soins apportés dans la fabrication d'un produit qui se paye fort cher, s'est toujours trouvée imparfaite. Aussi les Compagnies ont-elles renoncé à l'emploi de ces bandages.

M. Couche, tout en déclarant qu'il a vu à l'Exposition de Munich des rails à patin fabriqués tels que le recommande l'instruction des chemins de fer Bavarois, c'est-à-dire avec un champignon grenu et un patin nerveux, s'exprime de la manière suivante sur l'association du fer à grain et du fer nerveux :

« La soudure des deux fers est possible, sans contredit, mais elle est tout au mois difficile et suspecte dans les conditions de la

fabrication des rails. Le fer à nerf demande une température assez élevée; le fer à grain redoute tout excès de chaleur; surchauffé, il se dénature et passe à l'état de fer à gros grains, très-aigre; d'un autre côté, moins ductile que l'autre, il n'obéit pas aussi facilement à l'action du laminoir, et il s'y forme des gerçures. »

M. Curtel, comme M. Couche, préfère les rails composés entièrement de fer puddlé à ceux qui contiennent partie de fer puddlé et partie de fer affiné. Il propose aussi de laisser les maîtres de forges libres de composer les trousses entièrement de fer affiné ou de fer puddlé. Nous avons déjà exprimé notre opinion sur le danger qu'il peut y avoir à laisser cette faculté aux fabricants.

M. Curtel considère enfin la garantie exigée par les Compagnies comme illusoire. Nous sommes loin de penser qu'elle suffise pour mettre les Compagnies entièrement à l'abri des mauvaises fournitures, mais nous devons faire observer que la Compagnie du Nord en a tiré en plusieurs circonstances un si bon parti, qu'elle impose aujourd'hui aux fabricants, ainsi que nous l'avons indiqué, *trois années* de garantie.

Quoi qu'il en soit, la question de la fabrication des rails nous a paru tellement importante, que nous avons cru devoir proposer au Comité de direction des chemins de fer de l'Est d'envoyer un de ses inspecteurs en Angleterre, en Belgique et en Allemagne pour l'étudier sérieusement, et nous nous proposons de nous rendre dans les usines qui auront été visitées par cet inspecteur afin de contrôler les renseignements qu'il nous fournira.

Nous joindrons au second volume une note indiquant les résultats de cette étude.

Coussinets. — Les coussinets devant tous être conformes au modèle adopté, l'ingénieur en chef remet au fournisseur un coussinet type d'après lequel ce dernier établit ses modèles. Dès que le fabricant a coulé un certain nombre de coussinets, il les envoie à l'ingénieur en chef, qui indique s'il y a des modifications à faire au modèle. Ce n'est que lorsque cet ingénieur reconnaît par écrit que ces échantillons sont parfaitement conformes au type que la fabrication doit commencer.

Les conditions de tolérance sur le poids sont les mêmes pour les

coussinets que pour les rails, si ce n'est que l'on accorde 3 pour 100 en plus ou en moins.

Lors de la réception, on ne doit souffrir aucune différence dans la forme du logement du rail, ni comme profil, ni comme inclinaison. Les trous des chevillettes doivent être également très-exacts.

Les fontes employées doivent être grises, à grain serré et tenace, afin de présenter une grande résistance à la rupture. On exige qu'elles résistent à un effort de traction de 1,300 kilogrammes par centimètre carré. Pour constater cette résistance, on fond fréquemment des pièces d'essai de la forme représentée figure 173, et l'on tourne la tige *t t* exactement au diamètre de $0^m,01$. La pièce est suspendue à un point fixe par un des anneaux et le poids qui en mesure la résistance est suspendu au second anneau.

Fig. 173.

La fonte au bois, quand elle présente les qualités requises, peut être employée en première fusion ; la fonte au coke subit généralement une seconde fusion.

On n'a admis pour les premiers chemins de fer construits aux environs de Paris que des fontes de seconde fusion, mais l'expérience a prouvé que celles de première fusion bien choisie étaient d'un très-bon emploi ; seulement, comme les fourneaux qui produisent la fonte de première fusion sont bien plus sujets à se déranger que ceux d'où provient celle de seconde fusion, il faut exercer une surveillance plus sévère sur la fabrication des coussinets de première fusion que sur celle des coussinets de seconde.

On fait subir aux coussinets des épreuves par pression, comme aux rails ; il serait convenable de les soumettre également à des essais par le choc. On stipule enfin un délai de garantie qui est en général d'un an.

Chevillettes. — Outre les conditions relatives aux formes, dimensions et poids des chevillettes, on doit exiger que le fer qui les compose soit doux et nerveux. Les têtes doivent être refoulées, et non soudées. La réception se fait en présentant les chevilles à deux gabarits en acier trempé ; elles doivent toutes entrer jusqu'à la tête dans le plus grand et ne pas entrer jusqu'à la tête dans le plus petit.

On enfonce un certain nombre de chevilles dans un bloc de chêne jusqu'à moitié de leur longueur, puis on recourbe à coups de masse la partie excédante, de manière qu'elle fasse un angle de 45 degrés avec la verticale. Les chevilles soumises à cette épreuve ne doivent présenter aucune altération.

Coins. — Les coins doivent être en bois sec de bonne qualité (chêne ou acacia), sans aubier et de droit fil. Afin de s'assurer que cette dernière condition est remplie, on exige que les coins soient débités à la hache au lieu de l'être à la scie, puis rabotés.

On vérifie leurs dimensions au moyen de deux gabarits en acier; chaque coin doit traverser presque totalement l'un de ces gabarits et entrer à peine dans l'autre.

Traverses. — Nous avons dit que les traverses des chemins européens étaient en chêne, en hêtre, en pin, ou en sapin. Le hêtre ne peut être employé que lorsqu'il a été préparé par un des procédés indiqués plus haut. On prépare aussi généralement le sapin et le pin, à moins toutefois qu'il ne soit très-résineux, comme le mélèze (*pinus laryx*). Au chemin de l'Est, on a remarqué que les chevillettes prenaient du jeu bien plus facilement dans le sapin que dans les autres bois. Elles se maintiennent beaucoup mieux dans le bois de hêtre.

« En prenant la durée relative des différentes essences de bois préparées et employées pour traverses, dit l'instruction bavaroise, et en calculant les intérêts comparés du prix d'acquisition et les frais de pose, on a trouvé que le montant de l'entretien normal était en Bavière le même quand le prix d'acquisition des pins et des sapins est de 1 franc, celui des pins résineux de 1 1/3 et celui du chêne de 2.

« A cette considération purement financière il convient d'ajouter que les chevilles tiennent mieux dans ces traverses en chêne, et que l'exploitation éprouve moins de dérangement par suite du renouvellement des traverses, et que, de plus, il y a économie de coins, de chevilles, de boulons et d'éclisses. Il convient donc d'employer les traverses en chêne partout où il y a possibilité de se les procurer à un prix inférieur à 2 1/10 de fois celui des pins et des sapins, ou à 1 1/2 de fois de celui des pins résineux. »

Les traverses sont payées en raison de leur volume ou à la pièce. Dans ce dernier cas, les tolérances en plus doivent compenser les tolérances en moins et l'épaisseur de l'aubier est limitée. Quand les traverses sont payées au cube, on ne tient pas compte de l'aubier ou l'on indique une tolérance. Cette stipulation ne s'applique qu'aux traverses en chêne, car les traverses en hêtre ne contiennent pas d'aubier proprement dit. Il est très-important d'indiquer au cahier des charges le mode de mesurage des traverses. Autrement le fournisseur pourrait avoir la prétention de les mesurer suivant certains usages du commerce, au grand détriment de la Compagnie.

On stipule que toute traverse présentant des défauts sera rejetée; on exige que le bois de chêne ait été abattu en bonne saison (du 15 octobre au 15 mars, à l'époque où la circulation de la séve est ralentie); enfin l'on n'admet que des bois qui aient moins de deux ans de coupe.

Quant à la forme des traverses, on exige que les deux faces horizontales soient planes, et l'on indique une courbure limite dans l'autre sens. La Compagnie de l'Est n'admet plus les traverses demi-rondes en chêne.

On a reconnu que les traverses devaient faire saillie de $0^m,60$ au moins en dehors des rails. Si elles sont moins longues, leurs extrémités vibrent fortement au passage des trains et font tasser la chaussée, de sorte que les traverses finissent par ne plus reposer sur le ballast qu'en leur milieu. Pour la voie ordinaire de $1^m,50$, les traverses doivent donc avoir $2^m,70$ de longueur.

La largeur et l'épaisseur des traverses influent également sur la stabilité de la voie. Si les traverses sont trop minces, elles fléchissent au passage des machines; si elles sont trop étroites, elles ne reposent pas sur une surface assez étendue, et la voie manque de solidité. D'un autre côté, leur largeur ne doit pas dépasser $0^m,36$, sans quoi l'on ne parvient que difficilement à bourrer uniformément le sable sur lequel elles portent.

Aux chemins de fer de l'Est, on a employé des traverses très-volumineuses ($0^{ms},110$ pour les traverses intermédiaires), et on s'en est très-bien trouvé. La voie est excellente et coûte peu d'entretien.

C'est une économie mal entendue que d'employer des traverses trop faibles.

Les dimensions sont généralement plus fortes pour les traverses qui sont placées sous les joints des rails que pour les intermédiaires ; on fixe ces dimensions en laissant au fournisseur une certaine latitude entre des limites données.

Les traverses de joint équarries employées aux chemins de fer de l'Est en France ont $0^m,14$ à $0^m,17$ d'épaisseur sur $0^m,32$ à $0^m,35$ de largeur; les mêmes traverses demi-rondes ont de $0^m,14$ à $0^m,18$ d'épaisseur sur $0^m,32$ à $0^m,36$ de largeur.

Les traverses intermédiaires équarries n'ont que $0^m,14$ à $0^m,15$ d'épaisseur sur $0^m,21$ à $0^m,28$ de largeur; demi-rondes, elles ont de $0^m,14$ à $0^m,17$ d'épaisseur sur $0^m,21$ à $0^m,35$ de large.

Ballast. — Le ballast doit être perméable et avoir une certaine consistance. On emploie comme ballast différentes substances. Le plus souvent on se sert de sable; mais, dans les pays où le sable de bonne qualité est rare, comme, par exemple, aux environs de Lille, on le remplace par d'autres substances, des pierres concassées (chemins d'Orléans, de Strasbourg, etc.), des mélanges de briques pilées et de laitiers (chemin de Lille à la frontière belge), de la menue houille (chemin de Darlington), de la craie (chemin du Nord).

Le sable, pour être suffisamment perméable, doit être composé de grains de moyenne grosseur et assez durs pour ne pas être écrasés et réduits en poudre au passage des convois. L'eau circule moins bien dans le sable fin ; ce dernier, d'ailleurs, étant facilement soulevé par le vent ou même par le simple courant d'air que produit le passage d'un convoi, devient très-nuisible aux machines, en se logeant dans leur mécanisme. Il pénètre dans les joints et jusque sur les fusées des essieux, s'y attache au moyen de la graisse qui les lubrifie et en occasionne promptement la destruction.

Le sable qui contient une forte proportion d'argile à l'état de mélange absorbe l'eau et se convertit en boue à la suite des grandes pluies. Il doit donc être rejeté. Mais, si l'argile n'est qu'en petite quantité, loin d'altérer la qualité du sable, elle lui donne une certaine consistance et l'empêche de se déplacer trop facilement.

Les pierres concassées sont moins homogènes que le sable, et

leur emploi rend l'entretien plus difficile. Les mélanges de briques pilées et de laitiers ont donné toute satisfaction. La menue houille est d'un excellent usage. Mais il faut pour cela qu'elle ne contienne qu'une très-petite quantité de pyrite de fer; autrement elle s'enflammerait spontanément. La craie est souvent gélive et forme alors de la boue. On l'a employée au chemin du Nord pour l'assise inférieure de la chaussée; recouverte de sable elle a été soustraite aux influences de la gelée et s'est bien comportée.

Le choix du ballast exerce une grande influence sur l'état de la voie. On ne doit pas craindre la dépense pour obtenir un bon ballast.

Quant à ce qui concerne la qualité du ballast, l'instruction bavaroise s'exprime de la manière suivante :

« Comme ballast, il convient de ne jamais employer :

1° Du sable ou du gravier argileux ;

2° Du sable quartzeux, grossier, pur, sans être mélangé avec du gravier ou des pierres concassées ;

3° Du sable fin et mouvant, soit seul, soit comme mélange avec du gravier ou des pierres concassées ;

4° Des pierres pourries ou se dilatant par les influences atmosphériques.

« Les matériaux à préférer sont le gravier de quartz dur, ou d'autres pierres non gélives, ayant moins de 0^{m},045 de diamètre, mêlées d'environ un tiers de sable, grossier et pur, ou renfermant peu d'argile. On obtient un ballast également bon en couvrant un blocage de 0^{m},15 ou 0^{m},20 d'épaisseur d'une couche de pierres passées à l'anneau de 0^{m},05, mélangées d'environ un tiers de sable pur et grossier. Le sable ne doit pas former couches avec les pierres, mais être mêlé en même temps.

« Le gravier tout à fait pur d'argile, même mêlé de sable grossier pur, convient moins bien. Les pierres cassées, tendres, qui se réduisent en sable, soit par les influences atmosphériques, soit sous l'action de l'outil, en bourrant les traverses, conviennent encore bien moins. »

Il est certaines conditions communes à tous les cahiers des charges. Nous allons les indiquer.

Conditions générales. — Pendant l'exécution des travaux, il peut se présenter des améliorations qu'il soit convenable d'adopter; il faut toujours se réserver la faculté de le faire moyennant une indemnité réglée de gré à gré ou par experts. Il ne faut pas négliger de stipuler que toutes les contestations qui pourraient s'élever entre la compagnie et le fabricant seront jugées dans la localité où se trouve le domicile de la Compagnie. On serait autrement exposé à aller plaider dans des villes voisines de l'usine où le fabricant peut exercer plus facilement son influence.

On impose généralement au fabricant la condition de ne soustraiter qu'avec l'autorisation de la Compagnie. Enfin il faut opérer sur les payements une retenue de un dixième qui n'est restitué au fabricant qu'à l'expiration du délai de garantie.

POSE ET RÉCEPTION DE LA VOIE

Une mauvaise voie peut devenir la cause d'accidents graves, elle entraîne dans des frais d'entretien fort élevés. Il est donc de toute nécessité d'apporter le plus grand soin dans la pose.

Lorsqu'on reçoit la voie, il faut s'assurer que les traverses reposent sur une couche de ballast suffisamment épaisse, qu'elles portent par tous leurs points sur cette couche et sont convenablement enveloppées de ballast ; que dans la voie ordinaire avec rails à champignons les coussinets, et, par suite, les rails, ont l'inclinaison convenable ; qu'ils sont solidement fixés aux traverses ; que la largeur de la voie est constante, du moins dans les parties rectilignes ; que la hauteur des deux files de rails est la même dans les lignes droites ; que, dans les courbes, on a, pour faciliter le passage des convois, surélevé convenablement la file de rails extérieurs, et enfin que les coins ont été suffisamment enfoncés et ont été placés dans la direction convenable. Quand il s'agit de rails à patin, il faut s'assurer de la solidité des crampons.

Nous avons indiqué plus haut l'écartement des points d'appui des rails à champignons ordinaires du chemin de Mulhouse et des rails à patin du chemin du Nord.

L'instruction sur la pose des voies en Bavière est ainsi conçue :

« Les points d'appui de supports ne doivent pas être distants de plus de $0^{m},88$. Ces distances seront toujours plus faibles vers les extrémités du rail que vers le milieu. Les supports seront plus rapprochés vers les extrémités avec des rails sans éclisses qu'avec des rails à éclisses. Le rail à coussinets du chemin de l'Ouest (du roi Louis), de Bamberg à Schweinfurt, a $6^{m},14$ de longueur, on lui donnera 8 supports, placés à :

$0^{m},68$ $0^{m},75$ $0^{m},82$ $0^{m},82$
$0^{m},82$ $0^{m},82$ $0^{m},75$ $0^{m},68$

« Le même rail de $5^{m},26$ recevra 7 supports, placés à :

$0^{m},67$ $0^{m},75$ $0^{m},82$ $0^{m},82$ $0^{m},82$ $0^{m},75$ $0^{m},67$.

« Les rails à base large, de $5^{m},54$, avec éclisses, recevront 7 supports, placés à :

$0^{m},67$ $0^{m},79$ $0^{m},87$ $0^{m},88$ $0^{m},87$ $0^{m},79$ $0^{m},67$

« Les rails du modèle ancien (Seraing), de $4^{m},68$, sans éclisses, recevront 6 supports, portés à :

$0^{m},58$ $0^{m},88$ $0^{m},88$ $0^{m},88$ $0^{m},88$ $0^{m},58$

« Ces distances indiquées pour les supports seront observées, excepté dans les deux cas suivants : 1° lorsque la distance des joints laissée au moment de la pose est insuffisante, et 2° lorsqu'il n'existe point de moyens pour empêcher le glissement; dans ce cas, on pourra s'éloigner des normes indiquées jusqu'à $0^{m},06$.

« Dans l'essai à faire dans l'Algaü avec des dés sur nagelflue, on se servira, avec les rails à base large de $5^{m},54$ de longueur, de 6 au lieu de 7 supports, qui seront placés à :

$0^{m},79$ $0^{m},96$ $1^{m},02$ $1^{m},02$ $0^{m},96$ $0^{m},79$

On ne donnera même, et à titre d'essai, que 5 supports, placés à :

$1^{m},02$ $1^{m},14$ $1^{m},22$ $1^{m},14$ $1^{m},02$

« Ces distances sont mesurées du milieu d'un dé à l'autre; ces

dés seront placés diagonalement, pour présenter au rail une longue surface de pose.

« Dans les alignements, on conservera l'inclinaison de 1/20, admise jusqu'à ce jour et consacrée par l'expérience ; la même inclinaison sera conservée aux roues des locomotives, à l'exception toutefois de celles de devant, qui auront une conicité de 1/16.

« Dans les courbes, la surface de pose des rails à base large, comme les bases des coussinets dans les voies à coussinets, conserveront entre elles une inclinaison de 1/10, tandis que le niveau de la surface de roulement du rail extérieur s'élèvera par rapport à celle du rail intérieur avec la diminution du rayon de la courbe. Il n'y aura d'exception, pour l'inclinaison des rails entre eux, que dans les voies posées sur dés en pierre, ayant des rayons de 440 à 290 mètres. Dans ce cas, le rail intérieur restera vertical, et sa surface de pose sera par conséquent horizontale, tandis qu'il pencherait en dehors de l'axe de la voie, si l'on voulait conserver rigoureusement l'inclinaison entre ces deux surfaces de pose de dés.

« Les écartements extérieurs des rails consacrés par l'expérience sont :

Pour un rayon de	292^{m}	1^{m},4595
—	321	1^{m},4565
—	350	1^{m},4534
—	379 à 408	1^{m},4505
—	438 à 467	1^{m},4476
—	496 à 584	1^{m},4447
—	584 à 730	1^{m},4435
—	730 à 875	1^{m},4418
—	875 à 1,167	1^{m},4372

« Dans les courbes de gares, on peut, sur les voies principales, aller jusqu'à un écartement de 1^{m},4595, et, dans les voies secondaires *in maximo*, à 1^{m},461.

« Dans les courbes, on conservera au rail intérieur son niveau, mais on surhaussera le rail extérieur d'après les indications du tableau suivant :

« Pour un rayon de	292^{m}	0^{m},1167
—	350	0^{m},1021
—	408	0^{m},0954
—	467	0^{m},0875
—	525	0^{m},0817
—	584	0^{m},0719
—	875	0^{m},0579
—	1,167	0^{m},0159

« La distance normale de l'axe d'une voie à l'autre est fixée en dehors des gares à 3^{m},50. Dans l'intérieur des gares, cette distance est insuffisante, et partout où deux trains peuvent se mouvoir en même temps sur des voies parallèles, on la portera au minimum à 4^{m},95, ou mieux à 5^{m},25. Dans les stations principales, et dans les points où les deux voies viennent à se croiser, on laissera, s'il y a possibilité, entre elles un espace libre de 5^{m},20; ce qui suppose une distance d'axe en axe de 6^{m},70. Dans les autres voies des gares, on peut se contenter d'une distance d'axe en axe de 4^{m},10 à 4^{m},40. »

Nous avons indiqué plus haut certaines précautions à prendre pour fixer les coins et contrarier le mouvement de glissement des rails; l'instruction pour les chemins de fer bavarois s'exprime à ce sujet de la manière suivante :

« Si le glissement longitudinal des rails sur les supports n'a pas été empêché, il arrivera que les extrémités se toucheront en se refoulant peu à peu, et les rails fendront par éclats. Ces inconvénients sont parfaitement évités par l'emploi des éclisses à cornières.

« Dans une voie avec rails à bases larges et sans éclisses, on empêche le glissement longitudinal, mais d'une manière beaucoup moins parfaite, en enfonçant deux chevillettes à crochets dans les encoches rectangulaires pratiquées dans la base et vers l'extrémité.

« Dans une voie avec rails à coussinets, on enfonce les coins en bois :

« 1° Sur les fortes pentes, dans la direction de la pente;

« 2° A l'approche des stations, dans la direction de la station;

« 3° Et, sur le restant de la ligne, en partant du milieu du rail, dans les deux directions.

« Si des glissements ont lieu malgré ces précautions, on sort les coins, on partage les joints, mais sans toucher aux traverses de joints.

« Les distances de joints admises jusqu'à ce jour dans la pose se sont montrées insuffisantes par rapport aux glissements provenant de la dilatation; d'autant plus qu'il n'est pas à nier qu'il se produit en même temps sous l'action des roues un laminage dans les rails. On calculera donc à l'avenir les joints de manière à laisser, même par les plus fortes dilatations, une distance libre de 0m,0012.

« Pour empêcher les rails de se fendre par éclats, on arrondira les arêtes de la tête à 0m,005. »

PASSAGES A NIVEAU, BARRIÈRES, CLÔTURES ET CONTRE-RAILS

Passages à niveau. — Les routes qui croisent les chemins de fer passent au-dessus, au-dessous ou au même niveau (fig. 174).

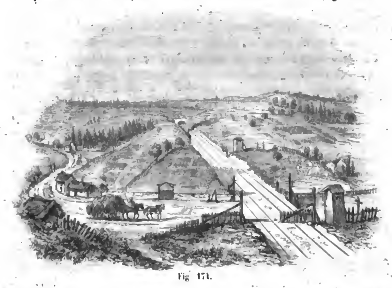


Fig. 174.

Dans le dernier cas, la partie du chemin de fer traversée par la

route prend le nom de *passage à niveau*. Nous avons, au chapitre du *Tracé*, traité la question de savoir jusqu'à quel point il convenait de multiplier les passages à niveau et celle des règles à observer dans leur distribution sur les lignes. Il nous reste à parler de la disposition de la voie dans les parties où elle se croise ainsi avec les routes.

Si le passage à niveau ne doit servir que pour les piétons, la voie ne subit aucune modification. Les rails ne gênent pas plus les piétons que tout autre obstacle d'une faible hauteur placé en travers de la route. Mais, si les voitures ont accès sur le passage, il est nécessaire de le paver dans toute la largeur de la route. Les rails sont alors noyés dans le pavé, comme l'indique la figure 175, qui est une coupe en travers de la voie, en sorte que les roues des voitures ne passent que sur le champignon du rail sans risquer de le renverser, comme elles le feraient infailliblement s'il était en saillie au-dessus du sol.

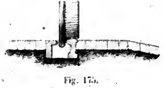


Fig. 175.

Du côté de l'axe de la voie est une rainure ménagée dans le pavé et dans laquelle se logent les bourrelets des roues de waggons. L'un des côtés de la rainure est soutenu par le rail lui-même, l'autre côté par un longeron en bois, une bande de fer ou un rail usé qui porte le nom de contre-rail. Le contre-rail doit être recourbé à ses extrémités, comme le représente la figure 176, afin qu'une roue de waggon qui, par suite d'une oscillation latérale, s'écarterait du rail, soit ramenée tout naturellement dans l'espace compris entre le rail et le contre-rail.

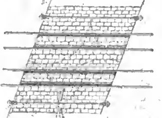
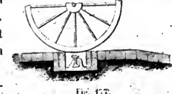


Fig. 176.

Quelquefois on ménage une rainure à droite et à gauche du rail (fig. 177), afin qu'aucun obstacle, tel qu'une petite pierre, ne puisse se placer sur le bord extérieur du rail et gêner le passage des roues du waggon. La surface du champignon peut alors se

trouver plus bas que celle du pavé et les roues des voitures traversent la rainure dans toute sa largeur sans même toucher le rail. La première disposition, qui est la plus économique, est aussi la plus généralement adoptée.


Fig. 177.

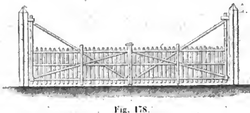
L'instruction pour l'établissement des chemins bavarois contient le paragraphe suivant relatif aux passages à niveau :

« Dans les alignements et dans les courbes de près de 250 mètres de rayon, on donnera entre le rail de la voie et celui formant contre-rail une ouverture de $0^m,075$, que l'on portera à $0^m,087$ quand le rayon de la courbe sera inférieur à 200 mètres. La profondeur de la rainure est donnée par les rails mêmes dans la voie avec rails à bases larges. Dans les voies avec rails à coussinets, on conservera comme suffisante la profondeur actuelle de $0^m,04$.

« Les routes de l'État et les autres chemins très-fréquentés ou se trouvant à proximité des villes doivent être pavés sur les passages à niveau; dans les autres cas, il suffit d'établir un bon empierrement. Partout où les passages à niveau auront un pavé, il convient de les prolonger d'au moins 10 mètres des deux côtés des voies ferrées. Cette partie sera horizontale ou à rampe maxima de $0^m,02$ vers la voie de fer. Dans les voies et les entre-voies on donnera une légère surélévation ne dépassant pas de $0^m,03$ le niveau des rails. Le côté extérieur du rail de la voie sera garanti par une longuerine en bois de chêne de $0^m,15$ d'épaisseur et garni d'une cornière en fer servant de point d'appui au pavé. »

Barrières. — Le chemin de fer est toujours, en France, enfermé entre deux lignes de clôtures. Au passage des routes, la clôture fixe doit être nécessairement interrompue et remplacée par une barrière mobile. Cette barrière, représentée figure 178, est à un seul vantail ou à deux vantaux, suivant sa largeur. Quand elle est à deux vantaux, elle peut s'ouvrir du côté du chemin de fer, de manière à fermer la voie tout en ouvrant la route, ou s'ouvrir du côté de la route en laissant la voie ouverte. La première disposition a cet avantage, qu'elle ne permet pas aux piétons, aux chevaux ou

aux bestiaux de s'écarter à droite ou à gauche du passage à niveau pour circuler sur le chemin de fer; mais elle a cet inconvénient, que, si la route coupe obliquement le chemin de fer, les barrières doivent être très-grandes, et que souvent la barrière, se trouvant, par suite de négligence, barrer la voie au moment de l'arrivée du convoi, est renversée par la machine. Aussi la première disposition est-elle préférée.


Fig. 178.

Le passage sur la route est ordinairement libre; ce n'est qu'au moment de l'arrivée des convois qu'on le ferme momentanément.

L'inclinaison des routes, quand elles se raccordent aux chemins de fer, ne doit pas, aux termes de la loi, dépasser 3 centimètres pour les routes impériales, et 5 centimètres pour les chemins vicinaux et ruraux. La limite inférieure fixée par la loi pour le rayon des courbes de raccordement est, sur les routes impériales, de 50 mètres, et, pour les chemins ruraux, de 15 mètres.

Les routes, en traversant les chemins de fer, doivent conserver toute leur largeur.

Les barrières auxquelles se tient le garde, dit l'instruction bavaroise, sont les seules qui n'ont pas besoin d'être fermées à clef. On peut fermer à la main les barrières se trouvant à moins de 150 mètres du poste d'un garde; celles qui se trouvent plus loin peuvent être manœuvrées convenablement au moyen d'un fil de fer.

Clôtures. — Les clôtures sont en bois, composées de treillages plus ou moins simples de $1^m,40$ de hauteur, fixés à des poteaux, espacés de $1^m,50$, ou de lisses en bois clouées à des poteaux. On fait aussi des clôtures avec des fils de fer galvanisés fixés à des poteaux en bois, ces fils pouvant être tendus à volonté par des appareils spéciaux.

Les meilleurs treillages sont formés de lattes appointies ou de simples échalas unis les uns aux autres par des fils de fer tressés.

On a fabriqué à la mécanique les treillages composés de lattes. On renonce aujourd'hui à l'emploi de ces treillages. A la mécanique, ils manquent de solidité et sont d'un entretien trop difficile. Tout légers qu'ils sont, les treillages en échalas offrent une grande solidité, et ce n'est pas sans difficulté qu'on parvient à les briser. Les clôtures avec lisses sont plus économiques, mais elles n'opposent presque aucun obstacle au passage des hommes et des animaux sur la voie.

Celles en fil de fer galvanisé ne coûtent pas beaucoup plus que celles avec lisses en bois et durent plus longtemps. Sur le chemin de Mulhouse, on a posé des clôtures de la première espèce dans le voisinage des villes ou dans les localités très-peuplées et des clôtures à lisses sur les autres parties de la voie.

Ces clôtures ne sont que provisoires : on plante généralement à côté des haies, qui, au bout de quelques années, doivent les remplacer.

Il est difficile d'obtenir des haies en bon état sur une grande longueur de ligne. Au chemin de fer de l'Est on avait confié l'entretien des haies à un entrepreneur général. On a eu lieu de le regretter. L'établissement de ces haies se ferait probablement dans de meilleures conditions en régie. L'exécution peut en être confiée avec avantage aux gardes-ligne, que l'on intéresse au travail par des primes.

L'instruction bavaroise recommande de ne planter des haies que sur les points où elles ne peuvent pas favoriser les encombrements résultant des neiges mouvantes.

Contre-rails. — On ne pose pas de contre-rails à l'emplacement des passages à niveau seulement. On en posait anciennement sur toutes les parties du chemin où les déraillements paraissent le plus à redouter, ou dans celles où ils pourraient avoir les plus graves conséquences. Les contre-rails se composent alors de longerons en bois plus élevés que les rails et ont pour but d'empêcher les waggons de quitter la voie. La distance de ces longerons (figure 179) au rail est de 75 millimètres. Le contre-rail s'oppose à ce que le

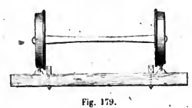


Fig. 179.

waggon quitte la voie en montant sur le rail et à ce qu'il dévie. Comme, à la rigueur, il faudrait poser des contre-rails sur tous les grands ponts et sur tous les remblais élevés, et que cela deviendrait souvent fort coûteux, on en a considérablement limité l'usage. *Et même sur le chemin de Lyon ainsi que sur toutes les nouvelles lignes en France, on supprime les contre-rails comme rendant l'entretien de la voie plus difficile.* Sur le chemin du Palatinat, cependant, on en a posé dans toutes les courbes de petit rayon du côté de la file de rails la plus courte.

CHAPITRE VIII

ACCESSOIRES DE LA VOIE

CHANGEMENTS ET CROISEMENTS DE VOIE, PLAQUES TOURNANTES, CHARIOTS DE SERVICE, GRUES HYDRAULIQUES ET SIGNAUX FIXES.

Dans l'exploitation d'un chemin de fer, on a fréquemment besoin de faire passer les voitures ou machines d'une voie sur une autre, particulièrement dans les gares d'un chemin à double voie et aussi dans les gares d'évitement d'un chemin à simple voie. Les appareils au moyen desquels s'opèrent ces manœuvres peuvent être divisés en deux catégories.

Ceux de la première catégorie permettent de faire passer tout un train d'une voie sur l'autre par une manœuvre unique qui se fait généralement avec le moteur ordinaire; ce sont les *changements de voie*.

Ceux de la seconde catégorie exigent une manœuvre spéciale pour chaque véhicule; ce sont les *plaques tournantes* et les *chariots de service*.

Changements de voie. — Supposons qu'aux points *c c* (fig. 180)

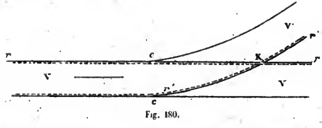


Fig. 180.

la voie V se bifurque, on conçoit aisément qu'au moyen d'appareils

spéciaux, placés en c, un convoi qui marche dans la direction de la flèche pourra être guidé, soit dans la voie V, soit dans la voie V', ou bien qu'un convoi venant par une des voies V et V' en un sens inverse de la flèche pourra continuer sa route sur la voie V.

L'appareil placé en $c\,c$ est le *changement de voie* proprement dit.

En K, où les rails des deux voies se coupent, il faut nécessairement une autre disposition particulière qui permette aux rebords des roues, dont la trace est indiquée en lignes ponctuées dans la figure 180, de passer dans les rails $r\,r$ et $r'\,r'$ sans monter sur ces rails. Ce nouvel appareil est le *croisement de voie*.

Tous les changements de voie peuvent être placés dans l'une des trois catégories suivantes :

1° Le changement se compose de deux rails $b\,d$ et $a\,c$ réunis par une entretoise à articulation $o\,n$ (fig. 181). Ces deux rails, qui por-

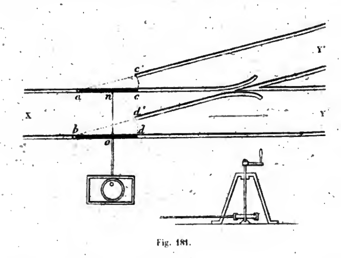


Fig. 181.

tent le nom d'aiguilles, peuvent tourner dans le plan du chemin autour de boulons placés en a et b. Placées dans la direction indiquée par les lignes pleines, elles desservent la voie X Y, en sorte que les convois, marchant sur cette voie dans la direction de la flèche, ne manqueront pas de la suivre en laissant de côté la voie oblique. Si, faisant tourner les aiguilles autour des boulons a et b, on leur fait

prendre les positions $a\,c'$ et $b\,d'$, indiquées par les lignes ponctuées, elles desservent au contraire la voie oblique, ou, en d'autres termes, elles forcent les convois qui arrivent en $a\,b$ sur la voie X Y dans la direction de la flèche à passer sur la voie oblique X Y'.

2° La voie est entièrement fixe ; elle est simplement interrompue sur une petite longueur en $a\,b$ (fig. 182), afin de donner passage aux bourrelets des roues. Les convois sont alors dirigés sur l'une ou l'autre voie par deux barres de fer plates $c\,d$ et $c'\,d'$, recourbées à leurs extrémités c et c', et tournant dans le plan du chemin autour de boulons d et d'. On appelle aussi ces barres des aiguilles. Placées comme l'indiquent les lignes pleines, elles permettent au convoi qui vient en X sur la voie X Y dans la direction de la flèche, de continuer à se mouvoir en ligne droite sur cette voie, et, si on les fait tourner de manière qu'elles prennent la position indiquée en lignes ponctuées, elles forcent le convoi à prendre la voie oblique. En effet, une des roues de devant, arrivant en a, ne peut passer sur la voie rectiligne parce que l'aiguille l'en empêche ; elle est forcée de suivre la voie courbe. La roue jumelle, étant solidaire, prend aussi cette voie. Les aiguilles, plus hautes que les rails, ainsi que l'indique la coupe transversale (fig. 183), font effet de *contre-rails*, car, les bourrelets des roues passant entre le rail et l'aiguille, celle-ci empêche que la machine ou le waggon se jette de côté et sorte ainsi de la voie.

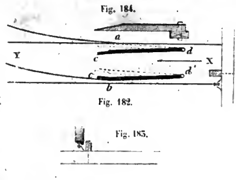


Fig. 184.
Fig. 182.
Fig. 183.

Les aiguilles de ces changements à contre-rails sont taillées en biseau en c et c', de manière à former un plan incliné, comme le montre la coupe (fig. 184).

3° Dans une troisième espèce de changement de voie, les deux aiguilles sont des bouts de rails effilés en b et b' (fig. 185), et tournant autour de boulons en a et a'. Les lignes pleines indiquent les

aiguilles disposées pour le service de la voie rectiligne, et les lignes ponctuées les mêmes aiguilles placées pour le service de la voie oblique.

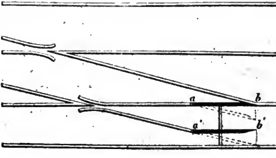


Fig. 185.

Chacun de ces trois systèmes a ses avantages et ses inconvénients : les changements de voie de la première espèce sont très-simples et permettent de rendre la direction extrêmement douce, puisqu'il suffit pour cela de faire les aiguilles très-longues; en outre, ils peuvent être disposés avec la plus grande facilité, de manière à desservir un nombre quelconque de voies se rencontrant en un même point. Mais ils sont très-dangereux, parce que, si un convoi venant de la voie Y' (fig. 181) dans la direction Y'X trouve les aiguilles placées dans les positions *ac* et *bd*, il déraille infailliblement. *Cette première espèce de changements de voie à rails mobiles est par cette raison abandonnée pour la voie définitive sur toutes les lignes établies depuis quelques années, ou du moins on n'en fait usage que dans certains cas particuliers que nous indiquerons plus loin.*

Les changements de la seconde espèce à contre-rails ont sur les précédents l'avantage de ne pas occasionner de déraillement du convoi si l'aiguille est mal placée. Supposons en effet les aiguilles desservant la voie rectiligne (fig. 182). Un convoi arrivant par la voie oblique n'est pas arrêté, comme on pourrait le supposer, en *c'* par l'aiguille. Le bourrelet de la roue, montant sur le plan incliné qu'elle présente à cette extrémité, passe par-dessus l'aiguille; elle

va retomber en *b* sur la voie X, et le convoi est ainsi rejeté avec une forte secousse sur cette voie. *Ce changement de voie, d'un autre côté, ne permet que des déviations assez brusques et fatigantes pour le matériel aussi bien que pour les voyageurs. On a cessé pour cette raison d'en faire usage.*

Les changements de la troisième espèce avec rails mobiles amincis à leurs extrémités, de même que les précédents, ne sont nullement dangereux quand les aiguilles sont mal placées. En effet, qu'un convoi marche sur la voie oblique lorsque les aiguilles desservent la voie rectiligne, comme figure 185, le bourrelet de la première roue arrivant dans l'angle *b* poussera de côté l'aiguille, qui sera ainsi chassée de même que l'autre aiguille *a' b'* dans la direction des lignes ponctuées, et le convoi s'engagera sans secousse sur la voie rectiligne. *Ce changement présente en outre une voie non interrompue; aussi est-il aujourd'hui généralement préféré.*

Lorsque, dans le cas de la première espèce de changement de voie, les waggons passent dans la voie oblique, la pression latérale du bourrelet des roues contre l'aiguille tend à la pousser de côté. Elle doit être alors manœuvrée et soutenue par un levier d'une espèce particulière avec excentrique, que nous avons indiqué dans la figure 181, ou par des leviers du même genre que nous décrirons un peu plus loin.

Dans le changement de la troisième espèce l'aiguille est soutenue par le rail. On la manœuvre à l'aide d'un levier dont nous représenterons la disposition.

La figure 186 représente le changement de voie de la première espèce, employé au chemin de Saint-Germain. Les aiguilles étaient de simples rails *américains*, portant à leur extrémité, placée du côté de la voie unique, un renflement *r' r* percé d'un trou vertical. Ce renflement s'appuyant sur une saillie venue de fonte avec le coussinet extrême de la voie unique, tous deux étaient traversés par un goujon en fer, autour duquel tournait l'aiguille; celle-ci s'appuyait de distance en distance sur de petites platines en fer fixées sur les longuerines du châssis qui portait les aiguilles. Les deux aiguilles étaient reliées entre elles par une entretoise en fer dont on réglait la longueur au moyen d'un écrou *e* à filets inverses. Le le-

vier L et la tringle *t t* servaient à manœuvrer les aiguilles. Ces ai-

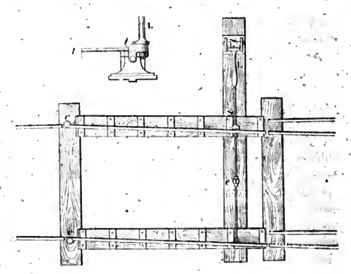


Fig. 186.

guilles étaient trop faibles pour pouvoir résister à la pression du bourrelet des roues; elles se déversaient d'ailleurs par suite de cette pression.

En Belgique, on a cherché à les consolider en les fixant sur une forte bande de tôle qui leur donnait plus d'assiette.

Aux chemins d'Orléans et de Birmingham, on a composé chaque aiguille de deux rails fixés du côté des deux voies sur un coussinet double qui tournait autour d'un goujon (fig. 187).

Les deux rails étaient en outre réunis de distance en distance par de petites entre-toises *e e* en fer. La manœuvre se faisait au moyen d'un arbre à manivelle muni d'un excentrique.

La ligne pleine indique la position de l'excentrique pour une première direction des aiguilles. La ligne ponctuée, sa position pour la seconde direction. Cet excentrique, en tournant, entraînait un châssis rectangulaire auquel était fixée la tringle qui réunit les aiguilles. On lui imprimait le mouvement de rotation au moyen de l'arbre vertical à manivelle (fig. 188).

Les changements de voie à rails mobiles étant fréquemment em-

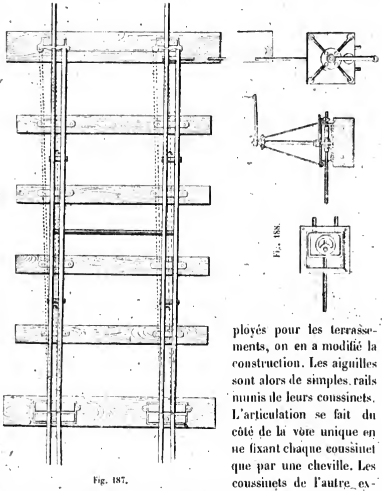

Fig. 188.

Fig. 187.

ployés pour les terrassements, on en a modifié la construction. Les aiguilles sont alors de simples rails munis de leurs coussinets. L'articulation se fait du côté de la voie unique en ne fixant chaque coussinet que par une cheville. Les coussinets de l'autre extrémité des aiguilles sont fixés sur une bande de fer plat qui glisse sur une traverse de la voie et qui est manœuvrée au moyen d'un levier.

La figure 189 représente un changement de voie de la seconde espèce employé dans l'origine au chemin de fer de Versailles (rive gauche). Elle indique que les contre-rails reposent sur des madriers en bois dans lesquels sont incrustées de distance en distance des pla-

tines en fer. D'autres fois ils glissent simplement sur des nervures venues de fonte avec les coussinets de la voie.

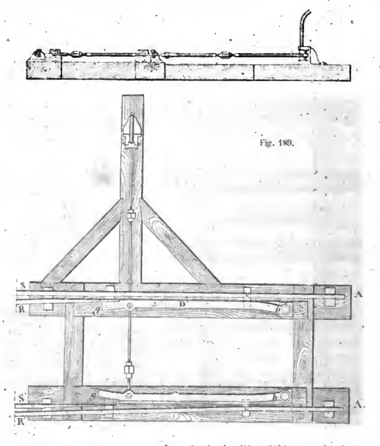


Fig. 189.

Le premier changement de voie à aiguille effilée est dû à Stephenson; il n'avait qu'une aiguille mobile (fig. 190). Les deux rails extérieurs AR et A'S' ne présentaient aucune discontinuité. Le rail intérieur SS de la voie droite était aminci pour donner passage aux bourrelets des roues. Enfin le rail *b* était mobile autour de l'articulation *b*; le rail A'S' était entaillé de manière que l'aiguille pût s'appliquer contre ce rail sur une certaine longueur, et conserver partout une force suffisante. Un contre-rail fixe D, évasé à ses extrémi-

tés pour faciliter l'entrée des bourrelets des roues, était fixé aux coussinets de la voie du côté opposé à l'aiguille. Un contre-poids suspendu au levier de manœuvre tenait l'aiguille appliquée contre le rail A'S' par l'intermédiaire de la tringle *t*, de sorte que la voie oblique était habituellement ouverte.

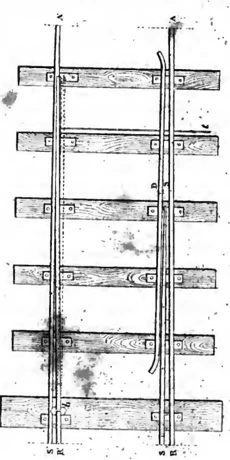


Fig. 190.

L'aiguille étant placée dans sa position normale tracée en traits pleins dans la fig. 190, un train marchant dans un sens ou dans l'autre passait de la voie oblique sur la voie droite ou inversement. Si le train marchant sur la voie droite SA, S'A' dans la direction S'A' arrivait sur le changement de voie, chacune des roues écartait à son tour l'aiguille en soulevant le contre-poids, et l'aiguille ne reprenait sa position que quand la dernière roue du train avait passé le changement de voie. Le contre-rail D, maintenant l'une des roues, empêchait dans ce cas la roue jumelle, dont le bourrelet marche entre l'aiguille et le rail S', de venir buter contre l'entaille de ce rail. Si enfin un train arrivant par la voie unique en sens inverse devait continuer à marcher sur la voie SS', il fallait qu'un ouvrier spécial, l'aiguilleur, manœuvrât le levier et écartât

l'aiguille de sa position normale pendant toute la durée du passage du train.

La pointe fixe S de ce changement de voie ne résistait pas longtemps aux pressions auxquelles elle était soumise, et, de plus, les convois, en passant pour marcher dans la direction rectiligne sur la lacune S, éprouvaient une secousse; on a remplacé cette pointe par une seconde aiguille, en général plus courte que la première, mais construite de la même manière, et l'on a été amené ainsi à l'établissement des changements de voie à deux aiguilles effilées (fig. 191), dont nous avons déjà fait mention. Afin de conserver à ces aiguilles une force suffisante, on les coude légèrement à partir du point *a*, où leur champignon rencontre celui des rails. On les tord en outre de manière qu'elles deviennent verticales près de leur pointe. Elles ont l'inclinaison de 1/20 comme les rails dans la partie voisine du talon.

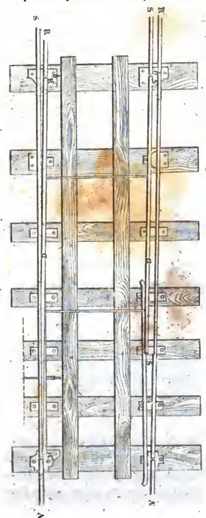


Fig. 191.

Un important perfectionnement a été apporté aux changements de voie de ce système par un ingénieur anglais, M. Wyld.

Dans cette nouvelle disposition, représentée fig. 192, les aiguilles sont coupées en biseau à

leurs extrémités, qui viennent se loger sous les champignons des rails; les roues, ne passant plus alors sur la partie la plus étroite

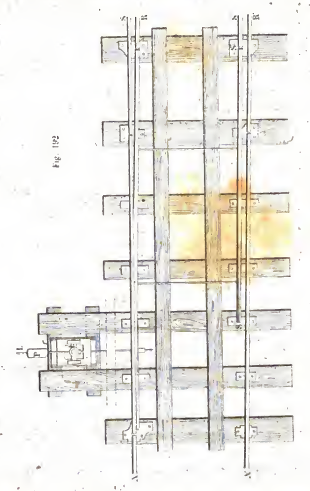


Fig. 192.

des aiguilles, ne les écrasent pas comme dans l'autre système, et, le rail n'étant plus entaillé, on évite les secousses, ce qui permet de supprimer le contre-rail.

Dans le changement Wyld, représenté figure 192, on a fait les deux aiguilles de longueurs inégales, afin d'empêcher les roues

d'un même waggon de s'engager en même temps sur deux voies différentes. En effet, supposons qu'une petite pierre ou tout autre obstacle se trouvant sur la voie ait empêché l'aiguille de la voie oblique de se fermer complétement, ou bien que les deux aiguilles se trouvent dans une position intermédiaire entre les deux positions normales, parce que le mécanisme rouillé ne fonctionne qu'imparfaitement, le bourrelet de l'une des roues de la machine placée en tête, s'engageant alors derrière l'aiguille de la voie oblique sur la voie rectiligne, poussera cette aiguille de côté, et la petite aiguille, suivant la grande, viendra s'appliquer contre le rail fixe. La roue jumelle, ne rencontrant alors la pointe de la petite aiguille que lorsque la première roue aura dépassé celle de la grande, marchera sur la voie rectiligne aussi bien que l'autre. Si, au contraire, les aiguilles étaient de même longueur, les deux roues arrivant en même temps vis-à-vis des pointes des deux aiguilles, l'une suivrait la voie rectiligne et l'autre la voie courbe.

On ne peut admettre des aiguilles d'inégale longueur que lorsque l'une des voies est droite et l'autre courbe (fig. 193); si les

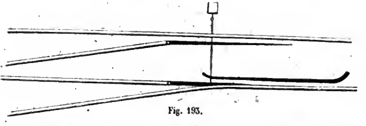


Fig. 193.

deux voies sont courbes et également inclinées sur une droite (fig. 194) les deux aiguilles doivent être nécessairement de longueurs égales.

Depuis quelque temps, sans s'arrêter au danger que peuvent présenter les aiguilles égales, on les a substituées aux aiguilles inégales sur toutes nos grandes lignes. Elles ont l'avantage de simplifier beaucoup, non seulement la construction, mais encore l'entretien de la voie, en permettant d'employer les mêmes changements pour les déviations à droite et à gauche, tandis que l'ancien système nécessitait l'usage de deux modèles différents.

Les aiguilles du changement de voie de la troisième espèce sont manœuvrées, tantôt au moyen du levier fig. 195 (chemins de l'Est), tantôt avec le levier fig. 196 (chemin d'Orléans). Les lignes droites et ponctuées indiquent les

Fig. 194.

deux positions des leviers correspondant aux deux positions des aiguilles. On remarque dans la première espèce de levier une barre perpendiculaire terminée par un contre-poids P. Cette barre s'emmanche sur le levier au moyen d'un œil ménagé en N. Quand on change le levier de position, on fait tourner la barre sur le levier, de manière à la faire passer avec son contre-poids du côté opposé. Le

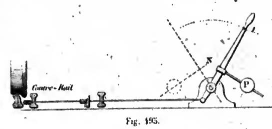


Fig. 195.

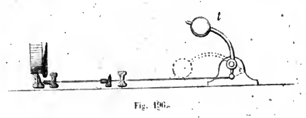
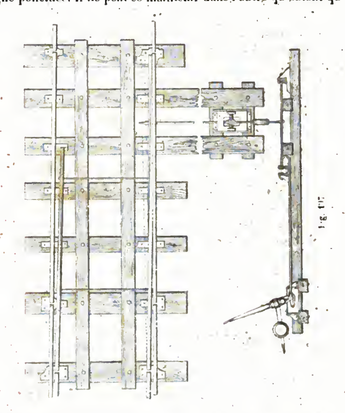


Fig. 196.

contre-poids sert alors à maintenir le levier en place, quelle que soit sa position (fig. 195 et 197).

Dans le système fig. 196, le contre-poids, étant placé à l'extré-

mité du levier, tend à le ramener constamment dans la position en ligne ponctuée. Il ne peut se maintenir dans l'autre qu'autant qu'il



a été soulevé et qu'il est soutenu par l'aiguilleur. Cette espèce de levier convient donc toutes les fois que l'on ne passe qu'exceptionnellement sur la voie desservie dans le cas de la position *t* du levier; mais elle est dangereuse en ce que si, dans ce cas, l'aiguilleur vient à abandonner le levier avant que la totalité du convoi ait passé sur cette voie, une partie suivra la voie oblique et l'autre la voie rectiligne, de telle sorte que le déraillement deviendra inévitable. L'autre disposition est plus répandue.

« Suivant l'usage général, en Allemagne, dit M. Couche, pour tous les changements de voie franchis par les trains, ce mécanisme

est complété par un signal indiquant quelle est la voie ouverte. On remarque, dans les appareils de M. Bender Woolf, que le signal est exactement le même pour la nuit et pour le jour. La lumière de la lanterne n'est pas visible, elle est renvoyée par un réflecteur conique sur chacun des deux disques opposés, dont elle occupe le centre, et qui deviennent ainsi visibles de loin; ils sont, d'ailleurs, infléchis de manière à être également éclairés en tous leurs points.

« En Hanovre, le signal, solidaire avec les aiguilles, se compose de deux disques placés à angle droit et supportés par une tige verticale, qui tourne de 180 degrés quand les aiguilles décrivent leur course complète. L'un des disques a une face blanche et l'autre verte; il présente l'une ou l'autre aux trains, suivant le sens de leur marche et la direction de la voie ouverte par les aiguilles; le second disque, rouge sur ses deux faces, ne doit présenter que sa tranche; il ne devient visible que si les aiguilles ne sont pas à fond de course et commande alors l'arrêt. Pour la nuit, les mêmes indications sont données par une lanterne à feux blanc, vert et rouge. »

Au chemin de l'Ouest (français), sur plusieurs points, les changements de voie sont disposés de telle façon, qu'ils ne peuvent être manœuvrés qu'autant qu'un disque voisin a été préalablement tourné, de manière à indiquer quelle est la voie libre[1].

Nous devons faire mention aussi des changements de voie pour trois ou un plus grand nombre de voies.

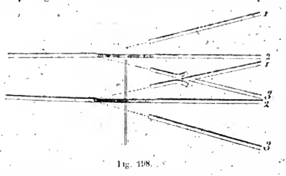


Fig. 198.

La figure 198 indique suffisamment comment, avec un change-

[1] Voir les plans de ces changements et ceux précédemment décrits dans le *Portefeuille de l'Ingénieur.*

ment de la première espèce, on peut desservir trois voies en faisant prendre aux aiguilles les positions indiquées par les chiffres 1, 2, 3. On conçoit sans difficulté qu'avec le même changement de voie on pourrait en desservir au besoin un plus grand nombre.

Pour desservir trois voies avec un changement à aiguilles effilées, il faut nécessairement employer deux systèmes d'aiguilles, chaque système étant manœuvré par un levier différent. La figure 199 indique cette disposition.

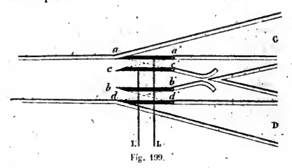


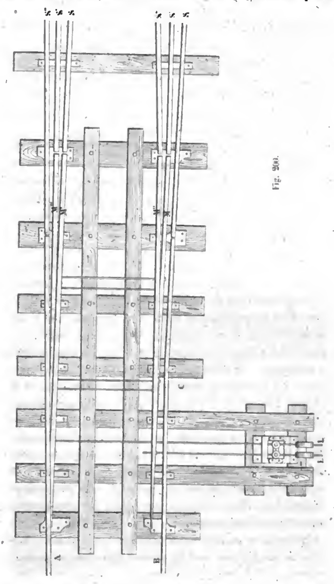
Fig. 199.

Les deux aiguilles *aa'*, *bb'* forment un premier système, et celles *cc'*, *dd'* un autre système. Dans la position occupée par les aiguilles, c'est la voie droite qui est desservie. Pour desservir la voie G, on change la position des aiguilles *aa'*, *bb'* avec le levier L, de manière à leur faire prendre la direction *ca'*, *db'*, et, pour desservir la voie D, on manœuvre à l'aide du levier L' les aiguilles *cc'*, *dd'*, de façon qu'elles se dirigent suivant la ligne *ac'* et *bd'*.

La figure 200 représente un changement à trois voies de cette dernière espèce, des chemins de fer de l'Est. Les quatre aiguilles sont reliées deux à deux par des tringles à filets inverses fixées par leurs extrémités aux leviers L et L'. Chaque couple est manœuvré par un de ces deux leviers. Dans la figure, la voie unique communique avec la voie S. Si l'on manœuvre le levier L de manière à appliquer l'aiguille M contre le rail SB et à écarter celle M' du rail S″A, la voie S' se trouvera ouverte. Enfin, en appliquant M″ et écartant M‴ au moyen du levier L', on ouvrira la voie S‴.

Les aiguilles des changements de voie fatiguant beaucoup plus que les autres parties de la voie, on s'est servi, pour les fabriquer,

de fer de première qualité, coûtant beaucoup plus cher que le fer



employé ordinairement pour les rails fixes. Ce fer coûtait, à Paris,

45 francs le quintal métrique, lorsque celui des rails ordinaires ne revient qu'à 28 ou 30 francs. Depuis peu de temps, nous avons substitué, sur le chemin de l'Est, au fer aciéreux, l'*acier puddlé*. Ce produit nouveau offre une grande résistance, quand il est convenablement fabriqué, et, bien qu'il coûte 35 francs le quintal métrique, on trouve avantageux de l'employer de préférence au fer dur; mais il laisse encore beaucoup à désirer au point de vue de l'uniformité de qualité. Il faut donc se montrer très-sévère pour la réception et exiger une garantie sérieuse du fabricant.

On a essayé l'acier fondu et le fer cémenté. L'acier fondu est trop cher et quelquefois fragile. Le fer cémenté a été abandonné. Au chemin de Lyon on emploie, pour la fabrication des changements et croisements, du fer au bois aussi cher que l'acier puddlé.

On s'est servi, mais sans succès, sur plusieurs chemins de fer, pour les changements et croisements de voie, de rails durcis au moyen d'un alliage d'étain.

Croisements de voies. — Nous avons dit précédemment que, au point où les rails des deux voies se coupent, il faut donner passage aux bourrelets des roues. A cet effet, les deux rails R et S se rapprochent jusqu'en *a* (fig. 201), où leur écartement n'est plus que de $0^m,04$, puis ils se recourbent de manière à former contre-rail. En *b*, où les deux faces intérieures de leurs champignons prolongés se coupent, les deux rails assemblés forment une pointe appelée *cœur*. Un convoi marchant dans le sens indiqué par la flèche serait exposé à dérailler si l'on ne prenait d'autres précautions, car ses roues de gauche pourraient s'engager dans la rainure *am* au lieu de suivre *an*. C'est pourquoi l'on dispose deux contre-rails crochés DD' dans le voisinage des rails non interrompus; le contre-rail D guide les roues de droite du train jusqu'à ce que celles de gauche soient engagées dans la rainure *an*. Le contre-rail D' agit de même pour la voie RR'. Ces contre-rails empêchent en outre les déraillements par l'effet des secousses.

On voit que de *a* en *b* les roues cessent d'appuyer sur le bord du rail. Elles ne portent que par leurs extrémités sur les parties coudées. Ce mode de roulement est anomal et exerce une influence nuisible sur la conservation du matériel; il convient donc de dimi-

nuer l'espace *ab* en faisant l'angle du croisement le moins aigu pos-

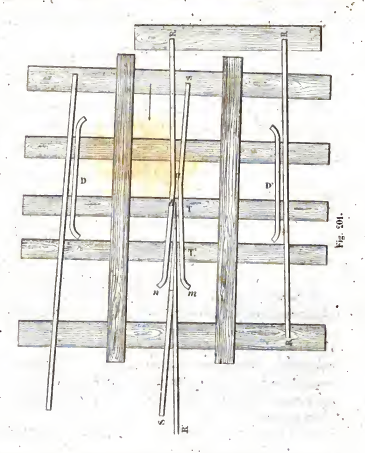


Fig. 201.

sible. D'un autre côté, un angle très-ouvert force à donner aux voies des courbures de petits rayons. Dans le Hanovre, on remarque dans les croisements une grande variété d'angles. Il importe cependant de réduire, autant que possible, le nombre des modèles. Aux chemins de l'Est, on satisfait à toutes les exigences avec deux angles différents seulement, un de $5\frac{1}{2}$ degrés et un de 7 degrés.

L'usure de la pointe et celle des coudes sont très-rapides. On la combat en soudant, sur ces parties, des mises d'acier, ou en rem-

plaçant, dans la fabrication, le fer ordinaire ou la fonte, comme nous l'avons indiqué, par du fer aciéreux et par de l'acier puddlé. Les mises d'acier soudées ne forment jamais un assemblage solide.

Anciennement on employait des croisements tout en fonte. Les voies étaient alors interrompues et remplacées dans l'espace *a b c d* (fig. 202) par une plaque en fonte portant les rails et contre-rails coulés en saillie sur cette plaque. Les croisements de voie tout en fonte sont aujourd'hui abandonnés à cause de leur grande fragilité.

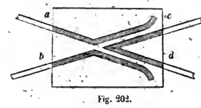


Fig. 202.

« En Bavière, dit M. Couche, l'administration a renoncé au fer pour revenir à la fonte, déjà bien des fois reprise et abandonnée. La pointe et les contre-cœurs, venus de fonte sur un bloc, sont pourvus de mises d'acier rivées. Ce bloc est muni de rebords latéraux qui servent à le fixer, au moyen de crampons, aux traverses que l'on recommande de substituer aux longuerines précédemment en usage. » Nous ne saurions partager la confiance de l'administration bavaroise dans les croisements en fonte.

En Belgique, où pendant vingt ans on s'est servi presque exclusivement de croisements en fonte, on s'est décidé dans ces derniers temps à recourir à l'emploi de croisements en fer avec coussinets spéciaux en fonte.

Pour les travaux de terrassement, on s'est servi de croisements en bois garnis de plates-bandes en fer.

Les cœurs des croisements de voie étaient, il y a quelques années, généralement composés de deux bouts de rails rabotés et boulonnés; on préfère aujourd'hui les cœurs d'une seule pièce. Au chemin de Lyon les pointes sont façonnées à l'étampe avec mise d'acier soudée par la même opération. Au chemin de Bâle à Strasbourg, où l'on a remplacé l'ancien rail à champignon par un rail à patin, la pointe est également fabriquée d'une seule pièce. Les rails sont solidement fixés à cette pointe à l'aide de boulons et d'é-

clisses. En Angleterre, on a construit des cœurs enlevés à la machine à raboter dans une masse de fer.

Dans la plupart des croisements de voie, les pattes de lièvre et le cœur sont assemblés au moyen de coussinets d'une forme particulière (fig. 203).

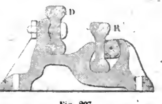


Fig. 203.

Au chemin du Nord, on a supprimé les coussinets, et les croisements sont composés de bouts de rails boulonnés sur des coins en fer, afin de maintenir l'écartement; le tout est fixé au moyen de boulons sur une platine en fer fixée sur la traverse.

Au chemin de Cologne à Minden, selon M. Couche, la pointe est installée, comme les aiguilles de changements de voie, sur une plaque d'assise en fer, sur laquelle les pièces en saillie sont rivées; la même disposition a été adoptée en Hanovre. Entre autres avantages, elle a celui d'être très-commode pour l'entretien; on n'a aucune réparation à faire sur place. Tout se réduit à l'extraction des crampons qui fixent la plaque d'assise. C'est la contre-partie du croisement *à pièces de rechange*, essayé sur quelques chemins anglais.

Sur le chemin de Great-Northern, en Angleterre, on a fait l'essai de changements et croisements de voie dans lesquels le boudin des roues porte dans la traversée de l'aiguille et du cœur; à cet effet, l'aiguille présente une saillie dans le bas et sur la moitié de sa longueur pour recevoir le boudin; le cœur est disposé, avec la patte de lièvre, d'une manière analogue pour faire porter le boudin dans la traversée de la pointe. Au dire des ingénieurs anglais, ce système de changements et de croisements de voie aurait, dans la proportion de 11 à 5, une durée plus grande que ceux ordinaires, placés dans les mêmes conditions.

Au chemin de Newcastle, à Carlisle et en Allemagne, on a cherché à supprimer l'interruption des rails en rendant les pattes de lièvre mobiles. Cet appareil étant sujet à se déranger, on préfère généralement les croisements avec pattes de lièvre fixes.

Les chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite)

ont un tronc commun d'une longueur de 6 kilomètres, à partir de Paris. Il n'y avait anciennement sur ce point que trois voies; tous les trains partant de Paris, pour l'une ou l'autre destination, prenaient celle du milieu; les trains venant de Versailles ou de Saint-Germain arrivaient à Paris par les deux voies latérales.

La bifurcation de la voie unique était placée à Asnières, en un point où les convois sont animés d'une grande vitesse. La déviation devait donc être très-douce; avec les appareils ordinaires, le croisement, qui est très-aigu, aurait présenté une interruption de la voie qui eût été dangereuse.

On l'a remplacé par un croisement mobile *c c* représenté fig. 204, et, en même temps que ce croisement, on a employé un

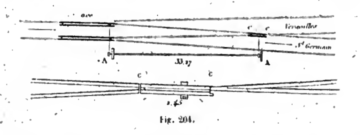


Fig. 204.

changement de la première espèce avec des aiguilles très-allongées. Les aiguilles du changement et celles du croisement étaient manœuvrées simultanément par l'intermédiaire d'un arbre A A fixé le long de la voie.

Il n'y avait dans ce cas particulier aucun danger à employer le changement de la première espèce, attendu que les convois ne marchaient sur les voies de Versailles et de Saint-Germain que dans une seule direction, celle de Paris vers l'une ou l'autre de ces villes. Les aiguilles étant mal placées, les convois prenaient le chemin de Versailles, au lieu de prendre celui de Saint-Germain, et *vice versâ*, mais il n'y avait nul risque de dérailler.

Depuis le raccordement de la ligne de l'Ouest avec celle de Versailles (rive droite), et l'établissement de celle d'Auteuil, on a posé deux voies de départ et supprimé complétement le changement de voies. Nous pensons, du reste, que dans les conditions où se trou-

vait précédemment la bifurcation d'Asnières, le changement de voies à rails mobiles est incontestablement préférable aux changements à aiguilles effilées, et nous sommes heureux que cette opinion soit partagée par M. Couche. Voici dans quels termes il s'exprime à ce sujet : « Les aiguilles ont remplacé partout les anciens changements à rails mobiles. Il y aurait cependant un certain avantage à conserver ce système aux embranchements pour la bifurcation de la voie de départ. Les trains venant alors tous du tronc commun, la continuité est assurée, que les rails soient bien ou mal placés, de sorte que l'objection capitale contre le système ne s'applique pas à ce cas. Les aiguilles, d'un autre côté, sont prises en pointes, fait grave pour des changements qui doivent être franchis aussi vite. »

Dans les travaux de terrassement, on fait usage d'un croisement de voie fort simple qui mérite d'être mentionné. Il consiste en un rail ordinaire A A (fig. 205) portant en son milieu et à ses deux extrémités trois coussinets A C A. Le coussinet C n'est fixé que par une cheville c qui lui sert d'axe de rotation. On conçoit dès lors qu'il suffit d'amener le rail dans l'une ou l'autre des positions indiquées dans la figure 205 pour ouvrir l'une ou l'autre voie. On maintient l'aiguille en place en fixant les coussinets A A au moyen de chevilles enfoncées dans les traverses qui les supportent.

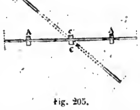


Fig. 205.

Traversées de voie. — Quand une voie en coupe une autre sous un angle plus ou moins aigu, sans venir s'embrancher sur celle-ci (fig. 206 et 207), disposition appelée *traversée de voie,* il faut, outre deux croisements, une disposition analogue, dite *coupement de voies*, dont ces figures rendent suffisamment compte. Les deux grands contre-rails coudés D D sont indispensables pour éviter qu'un train engagé dans l'une des voies

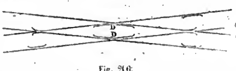
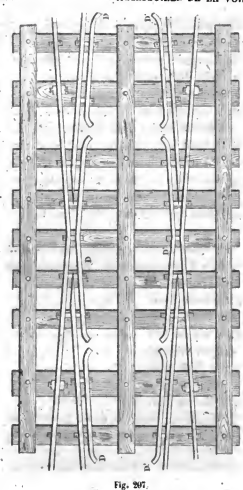


Fig. 206.


Fig. 207.

puisse passer sur l'autre voie.

Si la traversée se fait sous un angle droit ou à peu près droit, on entaille quelquefois les rails des voies transversales et principales, de manière à permettre le passage des bourrelets des roues sur l'une et sur l'autre des deux voies (figure 208). Il est préférable de ne pas altérer la voie principale, et pour cela on élève la voie transversale d'une hauteur telle, que les boudins des roues ne rencontrent pas la voie principale.

Les croisements, coupements et changements de voies sont établis sur des châssis en charpente afin de toujours présenter une invariabilité de forme absolue.

Voie principale
Voie transversale
A B
Coupe AB
Fig. 208.

Les voies qui relient les changements aux croisements sont posées sur des traverses à la manière ordinaire; seulement les longueurs des rails et l'espacement des traverses doivent être

tels, que le bourrage d'une traverse ne soit pas gêné par la voisine.

Plaques tournantes. — Les plaques tournantes sont des portions de voie mobile autour d'un axe placé en leur milieu.

Cette portion de voie mobile est ordinairement fixée sur un plateau circulaire tournant sur un pivot et sur des galets.

Supposons en effet deux voies V et V' se croisant sous un angle quelconque. Un waggon arrive sur la voie V (figure 209); il faut le faire passer sur la voie V'. Les voies V et V' sont alors interrompues en *a b c d* et *a' b' c' d'*. Un cercle est tracé du point K comme centre avec un rayon K*a*, et l'espace renfermé dans ce cercle est creusé jusqu'à une profondeur d'environ 0m,80.

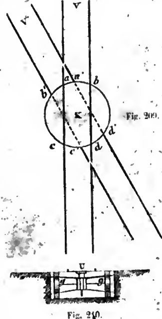


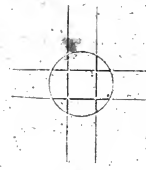
Fig. 209.

Fig. 210.

Cette fosse, dont les bords sont soutenus par différents moyens que nous indiquerons plus loin, est couverte par un plateau en bois ou en métal reposant au centre sur un pivot U (figure 210) et vers ses bords sur des galets *g*, *g'*; le plateau porte un bout de voie *a c b d*. On pousse le waggon de la voie V sur le plateau, qui doit être assez grand pour le recevoir. On fait faire au plateau une portion de tour, de façon que le rail *a c* prenne la direction *b' c'*, et le rail *b d* la direction *a' d'*, et on pousse alors le waggon du plateau sur la voie V'.

La même plaque tournante pourrait servir à faire passer le waggon sur une seconde et une troisième voie, etc. Mais il n'y aurait toujours qu'une seule voie de continue, toutes les autres seraient interrompues.

Quand deux voies se coupent à angles droits, comme fig. 211, ce qui arrive assez fréquemment, on se sert quelquefois de plaques


Fig. 211.

portant deux bouts de voies en croix.

Les deux voies sont alors continues; mais il faut, pour donner passage aux bourrelets des roues, ménager aux points d'intersection des deux bouts de voies des lacunes qui occasionnent des secousses. C'est pourquoi l'on préfère, pour le service des voies principales, les plaques à une voie seulement.

Certaines plaques à une voie placées sur les voies principales dans les gares extrêmes, près d'un trottoir, portent un relief pour rétablir la continuité du trottoir que l'on a dû entamer. On remarque cette disposition dans plusieurs gares en Belgique, et au chemin de l'Ouest (français).

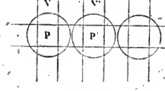
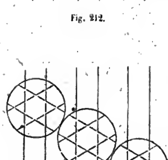


Fig. 212.

On emploie souvent les plaques tournantes pour passer d'une voie sur une voie parallèle. Il faut alors une plaque sur chaque voie, et les deux plaques doivent être réunies par un petit bout de voie transversale (fig. 212).

Supposons le véhicule sur la voie V. On l'amène de cette voie sur la plaque P, de la plaque P on le fait passer sur celle P', et de la plaque P' sur la voie V'.


Fig. 213.

Quand les deux voies sont trop rapprochées pour qu'on puisse placer les plaques sur une perpendiculaire à leur axe, on les dispose obliquement comme figure 213, et, pour simplifier autant que possible les manœuvres, on pose sur chacune des plaques trois voies, faisant avec chacune un angle de 120 degrés.

Pour les terrassements et les voies provisoires, on remplace les plaques par l'appareil suivant : au milieu de la voie fixe on établit un pivot sur lequel s'emmanche une traverse mobile portant, à chacune de ses extrémités, des bouts de rails qui la débordent en porte-à-faux des deux côtés, et dont l'écartement est le même que celui des files de rails qui composent la voie fixe. — La longueur de ces bouts de rails est déterminée par l'écartement des essieux des waggons.

La face inférieure de la traverse mobile étant dans le même plan que la surface de roulement des rails de la voie fixe, on fait tourner cette traverse sur son pivot de manière à faire reposer ses extrémités sur ces rails. — Les rails mobiles se trouvant alors dans la même direction que les rails de la voie fixe, mais placés au-dessus, on amène, à l'aide de cales en bois, de la voie fixe sur la voie mobile, le waggon que l'on veut changer de voie. Puis on fait tourner la traverse mobile de manière à amener les rails mobiles sur la nouvelle voie qui doit recevoir le waggon. Enfin, on fait descendre, toujours à l'aide de cales, le waggon des rails mobiles de la traverse sur les rails fixes de la nouvelle voie.

En étudiant les plans des gares que nous donnerons dans le chapitre suivant, on verra comment on a pu aussi, avec une seule plaque, desservir plusieurs voies parallèles.

Le diamètre des plaques tournantes est variable. Celles qui ne sont destinées qu'à porter des waggons à voyageurs ou à marchandises n'ont eu pendant longtemps sur les chemins de l'Est que 3^{m},40 de diamètre; mais, comme on a été conduit à augmenter l'écartement des essieux dans les voitures à grande vitesse pour leur donner plus de stabilité, et dans les autres voitures, afin d'augmenter la longueur des caisses, ces plaques ont été toutes remplacées dans les parties du chemin où passent les voitures à voyageurs par des plaques de 4^{m},50. Les anciennes plaques de 3^{m},40 ont été toutes reléguées dans les gares de marchandises, et l'on regrètte même pour le service des marchandises qu'elles soient d'aussi faible diamètre. Au chemin de Mulhouse, le diamètre est de 3^{m},50.

En général, il convient, dans la prévision d'une augmentation dans l'écartement des essieux des waggons ou des locomotives, de

donner aux plaques tournantes un plus grand diamètre que celui qui paraît strictement nécessaire. Il en résulte un petit accroissement de dépense ; mais cet inconvénient est largement compensé par l'avantage que l'on trouve à pouvoir plus tard modifier le matériel roulant.

Les plaques pour locomotives du chemin de l'Est ont toutes 6 mètres de diamètre.

Certaines plaques doivent porter en même temps la locomotive et le tender. Celles-là ont jusqu'à $12^m,50$ de diamètre.

Les plaques tournantes sur un chemin de fer où la circulation est active sont très-nombreuses. Elles constituent une dépense première considérable et doivent par conséquent être établies économiquement et solidement.

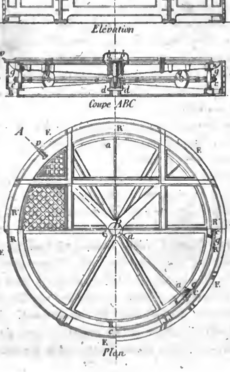


Fig. 214.

Nous allons, après en avoir indiqué les dispositions générales, entrer dans certains détails sur leur mode de construction, et décrire celles qui ont été ou qui sont en usage sur plusieurs lignes.

La figure 214 représente la plaque de $3^m,40$ du chemin de Strasbourg. La disposition en est sensiblement la même que celle des plaques de plus

grand diamètre qui lui ont été substituées pour le service de la grande vitesse.

Les galets *g* de cette plaque roulent entre deux chemins de fer circulaires qui sont venus de fonte avec la partie mobile et la partie fixe de la plaque. Ces galets sont coniques, ainsi que les *cercles de roulement* sur lesquels ils portent; de cette façon, ils roulent sur ces cercles sans qu'aucun de leurs points soit obligé de glisser. En effet, les différents points de ces galets parcourent des espaces proportionnels à leurs distances de l'axe de la plaque; s'ils étaient cylindriques, un seul point du galet roulerait; tous les autres devraient glisser pour arriver dans la position qu'ils doivent occuper après que la plaque a tourné d'un certain angle.

Les galets sont maintenus à égale distance du centre de la plaque par leurs axes *a* dirigés dans le sens des rayons et fixés entre deux rondelles, qui entourent la crapaudine. Un cercle *c* relie les extrémités des axes, et maintient ainsi l'écartement des galets entre eux.

La partie fixe de la plaque se compose du cercle de roulement R, qui est tourné avec soin, de ses six bras et de la crapaudine C; le tout est coulé d'un seul morceau. Les prolongements des bras servent à fixer la *cuve d'enceinte* E, formée de six segments en fonte assemblés entre eux à brides et à boulons. Ces segments portent les huit logements dans lesquels se fixent les abouts des rails des deux voies et quatre entailles pour le *verrou v* de la partie mobile dont nous nous occuperons plus loin.

La partie fixe repose sur une fondation de sable que l'on pilone par couches minces après l'avoir arrosée; elle est entourée de briques jointives dans sa partie inférieure, puis maintenue dans tout son pourtour par du sable pilonė avec soin.

Cette fondation est très-économique, dure longtemps, se répare et se déplace facilement.

La partie mobile de la plaque se compose essentiellement du cercle de roulement R', des bras et du moyeu; les bras sont au nombre de quatre, ils sont parallèles deux à deux et écartés de $1^{m},50$ d'axe en axe (largeur de la voie); les deux paires de bras enfin sont perpendiculaires entre elles. Le moyeu est alesé avec

soin pour recevoir le pivot; il est relié aux autres parties du plateau mobile par un croisillon dont les extrémités aboutissent aux intersections des bras principaux.

Les rails de la plaque reposent sur ces bras principaux par l'intermédiaire d'une petite lame de bois destinée à amortir les chocs. Ces rails, afin de laisser passer les bourrelets des roues, sont formés de quatre équerres et de quatre barres droites; ils sont fixés sur les bras au moyen de trente-six boulons qui traversent ces bras par autant de renflements.

Le *pivot* est en fer, tourné dans toute sa longueur de manière à glisser à frottement doux dans le moyeu, et muni d'un grain en acier à sa partie inférieure.

On règle sa position par rapport au plateau mobile au moyen de quatre gros boulons *b* dont les écrous appuient sur la rondelle qui lui sert de tête. En serrant ces écrous, on soulève le plateau mobile, puisqu'on augmente la saillie du pivot sous ce plateau.

Le grain du pivot repose sur un autre grain en acier logé dans la crapaudine de la partie fixe de la plaque; une clavette *d* permet de soulever ou d'abaisser ce grain d'une petite quantité.

Les intervalles des bras du plateau mobile sont recouverts de plaques en métal ou d'un tablier en bois. Le bois est moins cher que le métal et il est moins sujet que la fonte à se rompre quand un waggon déraille sur la plaque. Ces plaques portent le nom de *plaques de recouvrement*. Une cloche de recouvrement en fonte préserve le pivot de la poussière et de la boue.

Les secousses qui ont lieu quand un véhicule passe sur une plaque à l'intersection des voies étant assez violentes, même à petite vitesse, surtout avec les tabliers métalliques, on a cherché à les amoindrir en employant des croisillons en acier, en forme de palier destiné à supporter le boudin de la roue. Bien que ces essais aient été fréquemment renouvelés, l'usage de ces croisillons ne s'est pas généralisé.

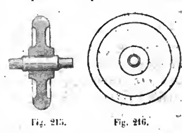
Le plateau mobile est muni d'un *verrou v* en fer tournant autour d'un axe horizontal. Quand on veut tourner la plaque on soulève ce verrou, et, lorsque ses rails sont arrivés en face de la voie sur laquelle on veut placer le waggon, on le fait tomber dans une des

entailles de la cuve d'enceinte dont nous avons parlé précédemment.

Dans les nouvelles plaques, on substitue souvent le rail Brunel plein aux barres de fer employées pour porter le véhicule, et on évite les biseaux formés par l'intersection à 45 degrés des rails de la plaque, en forgeant d'une seule pièce le sommet de l'angle droit. A cette pièce en équerre viennent s'assembler les rails coupés normalement à leur longueur.

Ces plaques sont d'un assez bon usage sur les voies parcourues exclusivement par des waggons; mais, quand elles sont placées sur les voies parcourues par les machines, leur fondation tasse, ce qui amène fréquemment la rupture des plateaux mobiles à la rencontre des bras et des croisillons. Dans les mauvais terrains on donne quelquefois plus d'empâtement à cette fondation, en interposant, entre le sable et la cuve (partie fixe de la plaque), de forts madriers, dirigés dans le sens de la voie parcourue par les machines.

Dans plusieurs anciennes plaques, on a fait usage de galets à jante arrondie (fig. 215 et 216), ce qui permettait de les employer bruts de fonte. Cette forme est vicieuse; elle donne lieu à une usure rapide des galets et du cercle de roulement, et, par son défaut de stabilité, à des dérangements continuels dans la position des galets.


Fig. 215. Fig. 216.

Il est important que les galets se trouvent le plus près possible du pourtour de la plaque. Sur plusieurs chemins de fer français, on les a, dans l'origine, rapprochés du centre de la plaque, par raison d'économie. Le porte-à-faux qui en est résulté pour les parties extérieures au cercle de roulement a occasionné des ruptures fréquentes.

Dans la plaque du chemin de fer de Paris à Strasbourg, nous avons vu que les galets roulent entre les deux cercles tournés et que les axes servent uniquement à les empêcher de s'écarter du pivot. Ce mode de construction est le plus convenable, puisqu'il ne donne

lieu qu'à des *frottements de roulement* beaucoup plus faibles que les *frottements de glissement*, et rend, par conséquent, la manœuvre de la plaque très-facile. Mais il est coûteux, parce qu'il oblige à tourner les deux cercles de roulement. Sur plusieurs lignes on a fait usage de galets dont les axes sont fixés, soit sur la fondation, soit sur le plateau mobile. Dans ce cas, le galet est quelquefois mobile sur son axe. D'autres fois il est fixé sur cet axe, qui alors repose sur des coussinets faisant partie de la fondation (fig. 217), ou bien, il supporte le plateau mobile par l'intermédiaire de coussinets semblables fixés sous ce plateau. La première disposition est vicieuse en ce qu'elle rend les réparations difficiles quand, par suite de l'usure, les galets ballottent sur leurs axes.



Fig. 217.

Les plaques de ces trois systèmes sont économiques, car elles n'ont qu'un cercle de roulement; mais leur manœuvre est difficile, à moins qu'on ne donne aux galets de très-grands diamètres, ce qui force à augmenter la profondeur, et par conséquent le poids de la cuve. Si, malgré cela, on se décide à en faire usage, on pourra, sans grands inconvénients, employer les galets à jante arrondie, pourvu qu'ils soient fixés sur des axes d'une certaine longueur; moyennant ces deux précautions, ils seront peu sujets à se déverser.

La figure 218 représente une ancienne plaque du chemin d'Or-

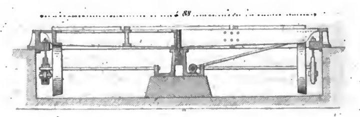


Fig. 218.

léans à Bordeaux avec un seul cercle de roulement dans laquelle on a diminué la résistance en faisant reposer les axes des galets qui supportent le plateau mobile sur d'autres galets de petit diamètre

et en leur donnant de grands diamètres. Des écrous et boulons servent à régler la hauteur de ces galets.

Les plateaux mobiles diffèrent peu de celui de la plaque du chemin de Strasbourg. Quand leur diamètre dépasse 4 mètres, on les fait presque toujours en deux pièces assemblées à boulons, suivant un diamètre parallèle à l'axe des voies.

Au chemin de Bristol, le plateau est recouvert d'un fort plancher en chêne sur lequel les rails sont fixés.

La partie fixe des plaques tournantes présente des dispositions bien plus variées.

Au chemin de fer de Birmingham, le cercle de roulement et la cuve d'enceinte des anciennes plaques étaient coulés ensemble, d'un seul morceau pour les plaques de 3^{m},66 de diamètre, et en deux pièces pour celles de 4^{m},57. Les bras et la crapaudine sont rapportés au moyen de boulons. Le cercle de roulement est un peu plus difficile à tourner que d'ordinaire, mais il est très-rigide.

Aux deux chemins de Versailles, le cercle de roulement des anciennes plaques était d'une seule pièce (diamètre de la plaque, 4 mètres) ; il était isolé et boulonné sur des dés en pierre de taille; le pivot était fixé et logé dans un support en fonte scellé dans une forte pierre de taille ; la crapaudine faisait partie du plateau supérieur. La fondation était en moellons et les parois verticales de la fosse en pierre de taille. Un cube de maçonnerie aussi considérable rendait la plaque fort coûteuse. Le cercle de roulement n'ayant que 2^{m},80 de diamètre, il en résultait un porte-à-faux considérable ; la plaque était à une seule voie.

L'ancienne plaque du chemin de fer de Saint-Germain (fig. 219) était à galets fixes dont les axes tournaient dans des supports venus de fonte avec la partie fixe. Celle-ci était coulée d'un seul morceau ; elle se composait d'une cuve d'enceinte et de six bras qui rayonnaient autour de la crapaudine. Le diamètre de cette plaque n'était que de 2^{m},30 ; le plateau mobile était venu de fonte avec ses plaques de recouvrement et ses rails. Ceux-ci s'égrenaient sous la pression des roues et mettaient la plaque promptement hors d'usage.

Au chemin de Bristol, le pourtour de la plaque était en pierre de

taille, ainsi que la fondation du cercle de roulement et du pivot, qui sont isolés l'un de l'autre. Aujourd'hui on abandonne entièrement les enceintes en pierre de taille.

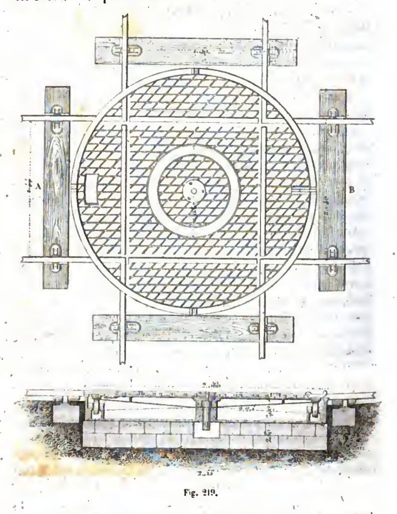


Fig. 219.

Les plaques de 6 mètres de diamètre du chemin de fer de Paris à Strasbourg, dont nous avons déjà décrit le plateau mobile, ont un cercle de roulement composé de six segments munis de pattes

sur lesquelles viennent se boulonner les huit segments de la cuve d'enceinte. Le cercle de roulement est posé sur des traverses placées sur la fondation en sable; la crapaudine est fixée dans un support en fonte à large base, qui repose lui-même sur un châssis en charpente.

Les plaques de $4^{m},20$ du chemin de fer du Nord et celles de 5 mètres de Lyon sont construites à peu près comme les petites plaques du chemin de Strasbourg (fig. 214); seulement le plateau mobile et la partie fixe sont formés chacun de deux pièces assemblées suivant un diamètre.

Au chemin de Strasbourg à Bâle, le cercle de roulement fixe est une simple barre de fer plate courbée en cercle; il repose sur une fondation en bois et y est attaché au moyen de vis. La crapaudine est boulonnée au centre de cette même charpente; enfin l'enceinte de la fosse est en bois.

La figure 220 représente une plaque tournante du chemin de fer de Versailles (rive gauche), construite entièrement en bois. Il en existe d'analogues au chemin de fer de Newcastle et en Autriche. Les plaques en bois sont fort économiques; mais elles ne doivent

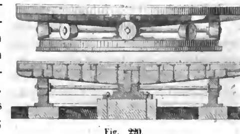


Fig. 220.

être employées que sur des voies couvertes. Les assemblages doivent être étudiés et exécutés avec le plus grand soin.

Les plaques en tôle, dont on fait un grand usage aujourd'hui, sont formées d'une membrure en fer double T, de 16 à 18 centimètres de hauteur, sur 12 ou 13 de largeur de champignon et régnant à l'aplomb de chaque file de rails. Des feuilles de tôle d'une épaisseur moyenne de 6 à 7 millimètres, disposées joints sur plein, consolident en dessus et en dessous ces fers à T, auxquels elles sont rivées, ainsi que les rails, de manière à former un plateau régulier dont l'épaisseur varie avec le diamètre de la plaque.

La cuve d'enceinte, le cercle de roulement, les galets, la crapau-

dine, se font à la manière ordinaire, de sorte qu'on peut remplacer un plateau en tôle par un plateau en fonte, et réciproquement.

En Angleterre, on a établi, il y a quelques années, des plaques tournantes dont la disposition présente beaucoup d'analogie avec celle des grues.

La partie fixe de ces plaques (fig. 221), dites à colonnes, se com-

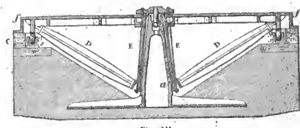


Fig. 221.

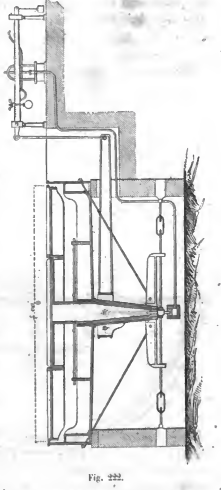
pose d'un fort arbre en fonte creux; autour est un cercle en fer tourné. Cet arbre, venu de fonte avec un croisillon qui est logé dans un massif de béton ou assemblé avec ce croisillon pour les plaques de grande dimension, reçoit à sa partie supérieure le grain de la crapaudine. La fosse est en forme de cône renversé; elle est munie à sa partie supérieure d'un couronnement C en charpente surmonté d'un cercle en fonte *f*. Dans certaines plaques, l'enceinte en charpente reçoit en outre des supports *s* avec galets à axes fixes *g*.

Le plateau mobile est formé de bras et d'un cercle extérieur tourné dans les plaques à galets. Ce plateau porte en son milieu sur une enveloppe en fonte E alézée, qui entoure la colonne et reçoit un pivot à boulet. Les extrémités des bras sont soutenues par des contre-fiches D, qui reportent vers la base de la colonne la pression qui résulte du passage d'une machine ou d'un waggon.

On a construit en Angleterre quelques plaques analogues à la précédente (fig. 222), mais qui permettent de peser les waggons en même temps qu'on les tourne. Le plateau mobile porte lui-même la colonne, qui repose sur une crapaudine suspendue par l'intermédiaire de tringles pendantes à un levier de romaine.

Au repos, ce plateau repose sur le couronnement de la fondation; on amène le waggon sur la plaque, puis on soulève le

pivot, et, par conséquent toute la partie mobile, en injectant de l'eau entre la crapaudine proprement dite et son enveloppe au moyen d'une pompe de presse hydraulique. Le plateau mobile et la charge ne portent alors plus que sur le pivot; la plaque est très-facile à manœuvrer, et l'on constate, au moyen de la romaine, le poids du waggon ajouté à celui de la plaque. Connaissant le poids de cette plaque, on obtient celui du waggon au moyen d'une simple soustraction.


Fig. 222.

Les plaques à colonnes sont très-coûteuses; aussi sont-elles peu employées; les dernières surtout donnent lieu à de fréquentes réparations qui en rendent l'avantage illusoire.

Dans ces derniers temps, on s'est beaucoup préoccupé des ruptures fréquentes des bras des plaques, et l'on a mis en étude plusieurs systèmes dans lesquels le cercle de roulement et le croisillon de la partie mobile sont en fonte, tandis que les bras sont en fer ou en bois et fer. On construit également des plaques de grandes dimensions entièrement en fer, mais dans lesquelles les supports des galets sont fixés sous le plateau mobile.

Avec les plaques dont nous venons de parler, on est obligé, pour

tourner une locomotive, de la *découpler* de son tender et de manœuvrer séparément l'un et l'autre. Ce mode d'opérer est long; aussi établit-on généralement dans les gares, où l'on doit fréquemment tourner des machines, une plaque de dimension suffisante pour recevoir simultanément la machine et son tender.

Le diamètre de ces sortes de plaques varie entre $8^{m},50$ et $12^{m},50$.

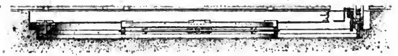


Fig. 223.

Avec de pareilles dimensions, un plateau mobile construit dans le

système des plaques de moindre diamètre serait une pièce de fonte très-difficile à couler ; aussi a-t-on eu recours à des dispositions particulières dont nous allons dire quelques mots.

Au chemin de Londres à Derby (fig. 223), il existe une plaque de 10^m,70 de diamètre[1]; dans laquelle les rails reposent sur deux fortes pièces de bois reliées entre elles par cinq entre-toises en fonte. Celle du milieu reçoit le pivot, qui est disposé comme celui des plaques de 3^m,40 du chemin de fer de Paris à Strasbourg. La crapaudine est fixée dans un support en fonte isolé, boulonné sur la fondation. Les rails sont soutenus à 2^m,50 de l'axe par huit galets mobiles entre deux cercles de roulement, dont l'un repose sur le sol, et l'autre est boulonné sous les longuerines. Un troisième cercle de roulement de 9^m,80 de diamètre supporte les abouts de ces longuerines par l'intermédiaire de quatre galets montés dans des supports en fonte ayant la forme de corbeaux.

L'un de ces galets peut être mis en mouvement au moyen d'une manivelle et d'un système d'engrenage ; en tournant, il entraîne la plaque et la charge qu'elle supporte.

Cette plaque est économique ; mais les fragments de coke enflammé et l'eau qui tombent continuellement des locomotives détruisent rapidement les longuerines.

En France, on a fait usage pendant longtemps de plaques entièrement en fonte, construites d'après un modèle belge (fig. 224).

Cette plaque a 8 mètres de diamètre ; son plateau mobile se compose de quatre grands longerons en fonte A A B B, reliés entre eux par un certain nombre d'entretoises en fonte et en fer, et de deux arcs de cercle *c c* en fonte, soutenus en leur milieu par deux traverses T T, et boulonnés à leurs extrémités sur les longerons B. Le tout est recouvert d'un plancher en forts madriers de chêne sur lequel les rails sont fixés au droit des longerons A au moyen de vis. L'entretoise E reçoit le pivot en fer trempé qui porte sur une crapaudine scellée dans la fondation. Quatre galets *g g*, dont les axes supportent les abouts des longerons, roulent sur le cercle en fonte tourné *c c* de 5 mètres de diamètre, qui fait partie de la fondation.

[1] Voir le *Portefeuille de l'ingénieur*.

Le mouvement est donné à la plaque comme à celle de la remise de Derby.

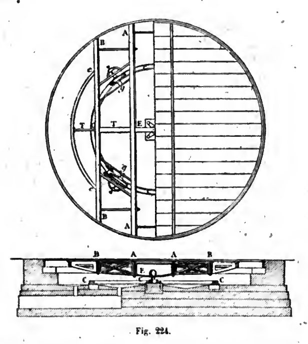


Fig. 224.

Les plaques de ce système, qui ont été construites depuis quelques années, ont reçu certaines modifications. Les rails reposent directement sur les longerons A. Le plancher est en tôle entre ces rails.

On a augmenté le diamètre du cercle de roulement afin de réduire le porte-à-faux des longerons. Malgré cela, ces longerons se brisent fréquemment, surtout quand, par suite de tassements survenus dans les fondations, les galets cessent de porter parfaitement sur le cercle de roulement.

On a été ainsi conduit à remplacer dans ces plaques presque toutes les pièces en fonte par d'autres en tôle armée de cornières. La figure 225 représente une grande plaque en tôle et bois, fabriquée par M. Buddicom pour le chemin de Strasbourg.

Les nouvelles plaques de $11^m,60$ du chemin de fer de l'Est,

plaques dont on est très-satisfait[1], ne diffèrent de l'ancienne pla-

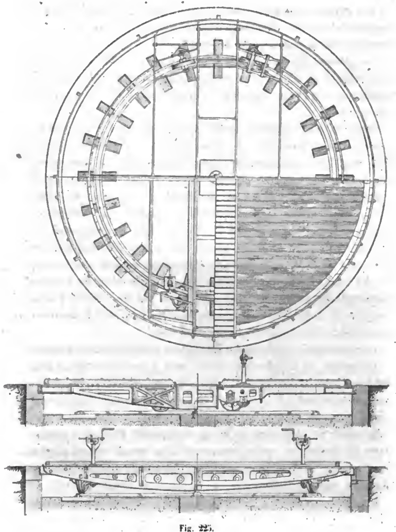


Fig. 225.

que de Derby (fig. 225) qu'en ce que les poutres en bois ont été

[1] Voir les plans détaillés de cette plaque dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*

remplacées par des poutres en fer et la plaque recouverte d'un plancher partie en bois, partie en tôle.

Les grandes plaques en usage sur le chemin Central suisse se rapprochent encore davantage de cette plaque anglaise. Elles sont, comme celle-ci, entièrement découvertes.

Les grandes plaques des chemins de Lyon, du Nord, de l'Ouest et d'Orléans, ne sont que les plaques Buddicom modifiées, dans lesquelles on a cherché à reporter la plus grande partie de la charge sur le pivot.

Jusqu'ici nous n'avons décrit, pour la manœuvre des locomotives et tenders réunis, que des plaques à une voie. Celles-ci peuvent être employées sans inconvénient, parce qu'elles ne sont jamais placées sur les voies principales; cependant on a construit en Allemagne des plaques de grande dimension à deux voies (fig. 226).

Le plateau mobile de ces appareils se compose d'un croisillon en fonte sur lequel sont boulonnés les quatre bras qui supportent directement les rails, ainsi que quatre autres bras intermédiaires qui partagent en deux les secteurs du plateau qui ne sont pas occupés par les voies. Toute la surface qui est comprise entre les voies est recouverte de plaques de fonte. afin de ne pas être altérée par les parcelles de coke enflammé qui tombent du foyer de la machine; le reste du tablier est ordinairement en bois.

Les extrémités des bras sont reliées par une couronne en fonte.

Les galets, au nombre de douze, sont à jante arrondie et fixés sur leurs axes au moyen de clavettes; ils soutiennent la plate-forme par l'intermédiaire de supports à coussinets boulonnés sur la couronne et sur les bras.

Le cercle de roulement en fer ou en fonte est fixé sur la maçonnerie des fondations, qui se composent d'un massif central portant la crapaudine et d'un mur annulaire présentant une surépaisseur jusqu'au sol de cette fosse.

Un cercle en fonte à denture intérieure sur tout son pourtour forme l'arête du couronnement de ce mur. Un système de manivelles et d'engrenages, dont le dernier mobile agit sur cette couronne dentée, est fixé sur le plateau; il suffit dès lors d'imprimer le mouvement aux manivelles pour faire tourner la plaque.

On supprime aujourd'hui dans les grandes plaques les cercles dentés fixés autour de la fosse ou sur le fond ; la réaction des galets sur un cercle uni suffit pour produire le mouvement

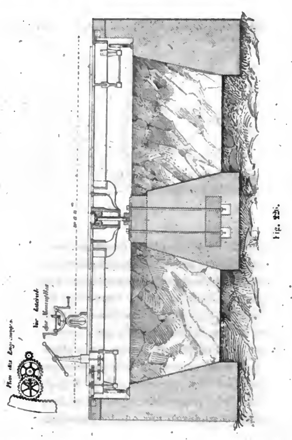


Fig. 226.

On a enfin construit des plaques pour locomotives et tenders réunis dans le système des plaques à colonne fixe (fig. 227). Les bras étant fort longs, on les a soutenus en leur milieu par une seconde rangée de contre-fiches. De plus, on a ajouté en *a* un collier de galets qui transforment le frottement de glissement de l'enveloppe sur la colonne en frottement de roulement. Sur le chemin de Londres à Birmingham, une plaque de ce genre, presque entière-

ment en bois, occupe le centre de la magnifique remise polygonale de Cambden.

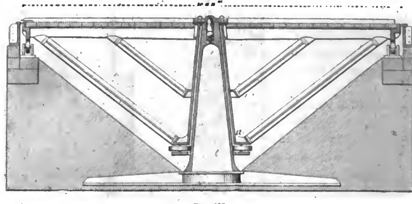


Fig. 227.

Aux chemins de l'Est, on a tenté de remplacer les fondations en fonte par des fondations en bois, et on a étudié de nouvelles plaques en fonte avec des cercles coulés indépendamment des croisillons, les bras ayant en coupe la forme d'un T renversé au lieu d'un T droit.

Les fondations en bois ont été abandonnées comme trop sujettes à se déformer lorsque le bois prend du jeu. La nouvelle forme donnée aux bras n'a pas offert la résistance que le calcul semblait promettre, mais on coule aujourd'hui les nouvelles plaques avec les cercles indépendants des croisillons. Cette dernière modification est la seule dont l'expérience ait constaté les avantages.

Elle prévient les ruptures, qui ont toujours lieu à l'entre-croisement des bras, où le retrait de la fonte donne lieu à des tensions inégales qui en diminuent la résistance.

En résumé, sur les nouvelles lignes :

On abandonne les plaques en fonte pour les voies principales, et on les remplace par des plaques en tôle. Ces dernières toutefois se détruisent rapidement par suite du jeu que prennent les rivets.

On se sert de plaques en fonte sur des voies latérales, surtout pour le service des waggons. On emploie les plaques en bois dans les

halles ou les remises couvertes, et on construit les plaques de grand diamètre en tôle et en bois.

Les plaques tournantes sont ordinairement manœuvrées par des hommes. Dans nos ateliers d'Épernay et de Nancy toutefois le mouvement de rotation est imprimé aux grandes plaques par une petite machine à vapeur de la force d'un cheval établie sur la plaque. Cette machine ne consomme pas par jour au delà de 100 kilogr. de menu coke valant à Épernay 15 fr. la tonne, et on en confie le soin à un ouvrier invalide. L'usage en est fort avantageux toutes les fois que les manœuvres des plaques doivent se répéter fréquemment.

Nous avons indiqué aux documents les prix des différentes espèces de plaques.

Chariots de service. — Pour faire passer les voitures ou les machines d'une voie sur des voies parallèles, on peut remplacer les plaques par un chariot qui, portant une portion de voie, roule sur un chemin de fer perpendiculaire aux voies parallèles que l'on veut desservir. Les rails fixés sur le chariot se trouvent dans le même plan que les voies. La voiture ou la machine à transporter d'une voie sur une autre est placée sur ce chariot.

La figure 228 représente un chariot destiné à manœuvrer des waggons. Les rails sont fixés sur une plate-forme en bois qui repose, par l'intermédiaire de coussinets et de boîtes à graisse, sur deux essieux portant chacun trois roues; la voie de service sur laquelle marche ce chariot est établie au fond d'une fosse creusée au travers des voies à desservir, et dont la largeur est égale à celle du chariot.

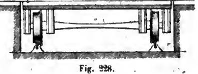


Fig. 228.

Avec un chariot de ce genre, la profondeur de la fosse est égale au rayon des roues augmenté de la distance de l'axe des essieux à la face supérieure des rails.

On peut réduire aisément cette profondeur à 20 centimètres, en suspendant les longerons aux essieux, comme cela est indiqué dans la figure 229.

Pour transporter les locomotives, on emploie des chariots dis-

posés comme les précédents ; seulement, pour rendre la manœuvre plus facile, on ajoute à l'un des essieux au moins un levier à dé-

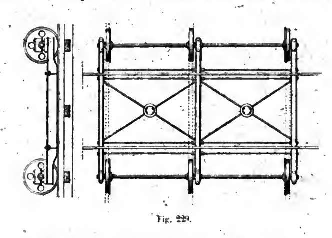


Fig. 229.

clic (fig. 230) au moyen duquel on fait tourner cet essieu. Toutefois dans les remises, où l'on déplace souvent les machines, on préfère les plaques tournantes, quoique plus coûteuses, parce qu'elles sont plus faciles à manœuvrer. On fait usage plus volontiers de chariots dans les ateliers de montage.

On fait depuis quelque temps usage dans les ateliers du Nord et de l'Ouest de chariots de service mus par la vapeur. A cet effet, on a placé sur le plancher du chariot, au chemin du Nord, une petite locomobile, qui imprime le mouvement à l'appareil. Au chemin de l'Ouest, on a construit une petite machine spéciale qui met le chariot en marche au moyen d'une chaîne fixe reposant au fond de la fosse. Ces deux appareils fonctionnent bien, et on paraît en être très-content.

Fig. 230.

Au chemin de l'Ouest, la machine au repos sert à chauffer un bain de potasse dans lequel on nettoie les pièces grasses qu'il fallait autrefois nettoyer au sable.

On peut, sans inconvénient, interrompre ainsi les voies et creuser des fosses dans les remises ou les ateliers ; mais il n'est pas possible de couper les voies principales. On se sert, pour ces voies, de

chariots d'une autre espèce qui permettent de les conserver intactes. Parmi ces chariots, nous citerons le chariot dit *hydraulique*, employé d'abord sur le chemin de Bristol, et imité sur le chemin de Saint-Germain (gare de Saint-Germain).

Ce chariot roule sur une voie transversale V (fig. 251), dont le niveau est de quelques millimètres plus élevé que celui des voies de départ, d'arrivée et de remisage. Cette voie transversale est interrompue à l'intersection des rails des voies longitudinales pour donner passage aux bourrelets des roues. Le chariot passe sur ces lacunes en roulant sur le rebord de ses roues, qui reposent alors sur les rails des voies longitudinales. A cet effet, ce rebord est plat (fig. 252), au lieu d'être circulaire, comme dans les véhicules ordinaires des chemins de fer.

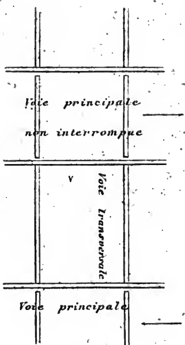
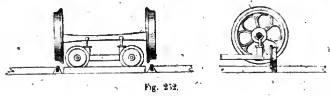


Fig. 251.

Le chariot porte une bâche remplie d'eau et des pompes, au moyen desquelles on peut refouler cette eau dans des cylindres verticaux. Ces cylindres sont munis de pistons dont la tige verticale se termine par une espèce de crosse. La voiture, roulant


Fig. 252.

sur l'une des voies longitudinales, est amenée au-dessus du chariot

hydraulique, de manière que ses essieux se trouvent exactement au-dessus des crosses.

Les ouvriers, faisant agir les pompes, soulèvent les pistons, et, par l'intermédiaire des crosses et des essieux, la voiture tout entière se trouve élevée jusqu'à ce que les boudins de ses roues puissent passer au-dessus des rails; ils font alors rouler le chariot et l'amènent vis-à-vis de la voie sur laquelle la voiture doit être transportée, laissent écouler l'eau des cylindres dans la bâche, et déposent ainsi la voiture sur les rails de cette voie.

Avec le chariot hydraulique les voies principales ne sont pas interrompues : il peut donc remplacer sans inconvénient les plaques tournantes établies sur ces voies dans les gares à voyageurs, mais seulement pour la manœuvre des waggons.

Il existe au chemin de fer de Lyon, dans la remise de voitures de la gare de Paris, un chariot de service qui jouit du même avantage que le chariot hydraulique.

La figure 253 représente la coupe, en travers, de cet appareil.

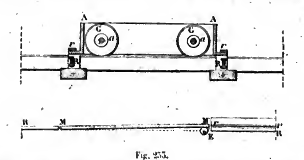


Fig. 253.

A A est un grand cadre rectangulaire en fonte, supporté par six galets G G montés trois par trois sur deux arbres *a a*.

Ces galets roulent sur une voie transversale semblable à celle du chariot hydraulique, mais composée de trois files de rails; *r r* sont deux rails en fer plat boulonnés sur une nervure venue de fonte à la partie inférieure des deux longs côtés du cadre; ces rails correspondent à ceux R R des voies principales, et ne sont élevés que de 4 à 5 centimètres au-dessus de ces derniers.

Pour faire monter une voiture sur ce chariot ou pour la faire

descendre, ou forme un plan incliné avec une portion des voies principales. A cet effet, les rails M M', qui avoisinent le chariot, sont mobiles autour d'axes horizontaux M placés à 6 mètres de ce chariot. L'extrémité M' de ces rails repose sur des excentriques E, et, suivant que les rails mobiles occupent la position M M' ou celle M E, la voie principale se raccorde avec celle du chariot ou avec son propre prolongement. Les deux excentriques d'une même voie sont calés sur un arbre unique que l'on manœuvre au moyen d'un levier.

Quoique fort ingénieux, ce système ne s'est pas répandu, parce qu'il exige, pour chaque voie, deux rails mobiles et leur mécanisme, appareils coûteux qui, dans bien des circonstances, rendraient l'emploi des plaques tournantes plus économique.

Nous avons remarqué à l'Exposition universelle de Londres et sur quelques lignes anglaises de nouveaux chariots qui ont beaucoup d'analogie avec celui que nous venons de décrire, sans être d'un prix aussi élevé.

Le chariot de Dünn, représenté dans la figure 234, se compose

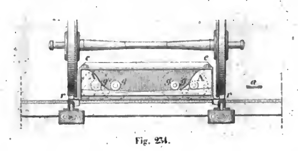


Fig. 234.

d'un cadre en tôle dont les rails *rr* sont disposés comme ceux du chariot du chemin de Lyon. Ce cadre repose sur 12 galets *gg* à jante cylindrique montés sur quatre arbres parallèles, et par leur intermédiaire sur six files de rails plats à deux rebords saillants formant ainsi une gouttière dont le fond est au niveau de la voie principale.

Les plans inclinés A A, qui raccordent les rails de ces deux voies, font partie du chariot ; ils sont fixés en *ee* contre les petits côtés du cadre par l'intermédiaire de charnières verticales dont les joints

sont hélicoïdaux. Quand les plans inclinés sont placés dans le prolongement des rails, leurs extrémités libres reposent sur ces rails; mais, si on les ramène contre les petits côtés du cadre, ils se relèvent, par suite de la forme particulière de la charnière, à une hauteur telle, qu'ils ne gênent plus le mouvement de translation du chariot. La longueur des plans inclinés est de $1^{m},20$, la hauteur qu'ils rachètent de $0^{m},04$.

Au chemin de l'Est, on a supprimé les rails mobiles, trop sujets à se déranger, et on a taillé en biseau les rails qui portent le chariot. Malgré la petite saillie de ces rails sur ceux de la voie principale, les ouvriers poussent facilement les waggons sur le chariot de service.

On emploie enfin depuis quelque temps au chemin de fer de l'Ouest (français), dans la gare de Paris, un chariot système Dünn,

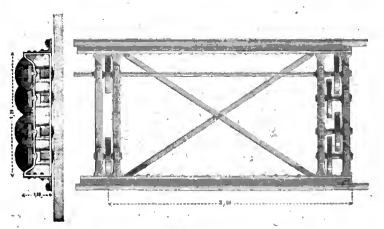


Fig. 255.

représenté figure 255, dont la disposition nous paraît supérieure à celle des précédents chariots.

A l'extrémité des voies, dans les gares de tête, on pose à côté des rails une espèce de contre-rail dont les figures 256 et 257 sont les coupes transversale et longitudinale. Le waggon destiné à être placé sur le chariot est poussé dans l'ornière formée par le rail et

le contre-rail Là il monte sur un plan incliné qui le conduit sur

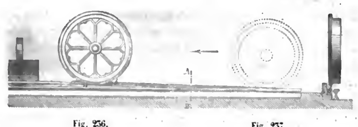


Fig. 236. Fig. 237.

le chariot et est maintenu latéralement sur ce plan incliné par les deux saillies formant contre-rails (figures 236 et 237).

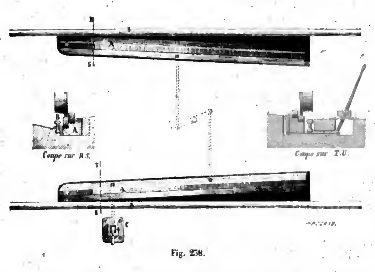


Fig. 238.

Dans les parties du chemin où la voie n'est pas interrompue et sur lesquelles les waggons passent quelquefois sans monter sur le chariot de service, les contre-rails sont mobiles, comme le montre la figure 238. On ne les approche du rail fixe que dans le cas où on doit faire usage du chariot.

L'usage des chariots de service, adopté sur un grand nombre de chemins de fer en Allemagne, se répand aujourd'hui beaucoup sur les chemins de fer français

Au chemin de fer de l'Est un chariot établi depuis peu de temps dans la gare de Strasbourg fait un excellent service. Il remplace avec avantage quatre grandes plaques tournantes.

Grues hydrauliques. — Les grues hydrauliques sont des appareils destinés à conduire l'eau d'alimentation des machines dans les tenders. Anciennement elles étaient entièrement métalliques ; elles se composaient de deux tuyaux concentriques verticaux dont l'un, celui placé à l'intérieur, était mobile autour de son axe, et portait à sa partie supérieure un prolongement horizontal en forme de bras de grue, qui d'ordinaire était dirigé dans le sens de la voie à desservir, mais qui, pour alimenter, devait être tourné d'équerre sur cette voie (figure 239).

Aujourd'hui un simple boyau en toile ou en cuir s'adaptant sur une tubulure venue de fonte au sommet d'une colonne fixe remplace cet appareil compliqué et dispendieux (figure 240).

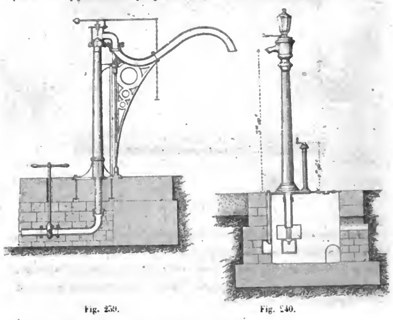
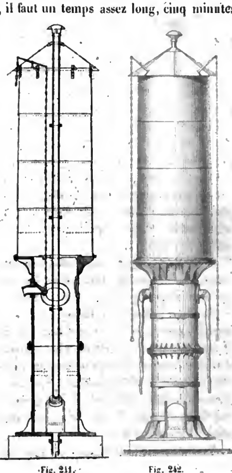


Fig. 239. Fig. 240.

Une conduite d'eau souterraine fait communiquer d'habitude le pied de la grue avec le réservoir d'eau d'alimentation. L'écoulement

de l'eau est interrompu à volonté par une soupape ou un tiroir manœuvré au moyen d'une vis. Anciennement, une manivelle ou un simple levier servait à manœuvrer l'obturateur ; mais, comme par ces moyens le mouvement des eaux était arrêté brusquement dans la conduite, il en résultait des chocs (*coups de béliers*) qui provoquaient des ruptures fréquentes dans cette conduite.

Avec ces appareils, dès que la longueur de la conduite atteint une centaine de mètres, il faut un temps assez long, cinq minutes environ, pour remplir un tender. Sur les lignes qui sont parcourues par des trains à très-grande vitesse, un arrêt de cette durée serait trop considérable. On a été conduit ainsi à remplacer des grues simples par des colonnes cylindriques très-élevées contenant une quantité d'eau suffisante pour remplir un tender (cinq mètres cubes environ). Ces réservoirs s'alimentent facilement entre le passage des trains; mis en communication avec le tender, ils le remplissent presque instantanément. En général ils sont munis d'un calorifère qui permet de chauffer l'eau d'alimentation avec des combustibles de rebut (fig. 241, 242).


Fig. 241. Fig. 242.

Ces grues hydrauliques à réservoir ont été employées pour la première fois sur le chemin de fer du Nord d'après les plans fournis par M. Alquié.

Signaux fixes. — On se sert, pour signaler l'état de la voie et la nature des obstacles qui pourraient l'obstruer, de signaux de différente nature.

Les plus utiles et les plus fréquemment employés sont les signaux électriques. Nous ne décrirons pas ici ceux de cette espèce. La télégraphie électrique est une science distincte qui doit faire l'objet d'un traité spécial ou du moins d'un chapitre à part. Nous ne parlerons que des signaux fixes, espèce de télégraphes aériens placés à l'entrée des stations, aux points de bifurcation, et à l'approche des souterrains, pour indiquer au mécanicien s'il peut continuer sa marche ou s'il doit s'arrêter.

Les signaux fixes se composent généralement de mâts ou de colonnes surmontées d'un disque peint en rouge (fig. 243). Ce disque peut tourner autour d'un axe vertical, de manière à présenter aux trains sa face rouge, ce qui signifie *arrêt*, ou son champ, ce qui indique que la voie est libre. Les signaux sont composés quelquefois d'un système d'ailettes qui, placées en croix, commandent le ralentissement, et qui, superposées, permettent le parcours à toute vitesse (fig. 244).

De nuit, le disque rouge est remplacé par une lanterne à feu rouge, les ailettes en croix par un feu vert; un feu blanc indique que le train peut passer en toute sécurité.

On place toujours un disque signal près de la voie montante et un autre près de la voie descendante. La distance de ces disques à la station doit être d'autant plus grande qu'il est plus difficile d'arrêter le train. Lorsqu'on marchait à des vitesses qui ne dépassaient pas 50 à 60 kilomètres à l'heure, les disques étaient à une distance de 500 à 600 mètres. Depuis qu'on atteint avec les machines Crampton des vitesses de marche de 75 à 80 kilomètres, on place les disques à 800 mètres au moins.

Anciennement la lanterne était fixée au disque, qui, placé parallèlement à la voie, présentait à la station et au mécanicien deux feux blancs par les verres de côté de la lanterne. Tourné perpendi-

culairement à la voie, le disque présentait son verre rouge à la ma-

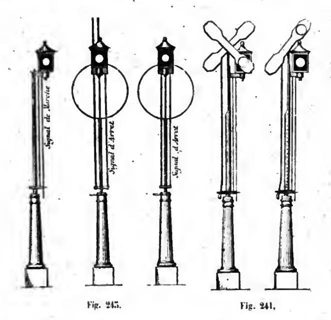


Fig. 243. Fig. 244.

chine; ce feu annonçait au mécanicien une cause d'arrêt; mais le mouvement de rotation imprimé au disque faisait presque toujours monter l'huile de la lampe avec trop de violence, et la lanterne s'éteignait.

Pour obvier à cet inconvénient grave, la lanterne est aujourd'hui, au chemin de l'Est, placée sur un appareil indépendant du disque, et reste immobile quand le disque tourne. Tous les verres de la lanterne sont blancs, le disque est garni d'un verre rouge, et muni d'un appendice perpendiculaire garni d'un verre bleu. Parallèle à la voie, ce disque laisse voir au mécanicien si la voie est libre (fig. 245 et 246); perpendiculaire, il a dans son mouvement de rotation placé le verre rouge dont il est garni devant la lanterne (signal d'arrêt pour la machine) et entraîné le verre bleu. La lanterne, dans ce cas, ne présente plus du côté de la station qu'un verre blanc qui indique au chef de gare que le disque est à l'arrêt.

On voit qu'avec ce nouveau signal la lanterne n'est pas exposée à se déranger; qu'elle fait le signal d'arrêt au mécanicien lorsque le disque est perpendiculaire aux voies et que la couleur bleue ou blanche du feu qu'elle envoie à la station indique bien la position du disque.

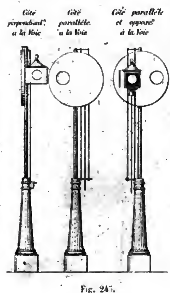


Fig. 245.

L'idée ingénieuse de cette modification dans la disposition des disques et des lanternes est due à M. Montégut, chef du bureau du mouvement aux chemins de fer de l'Est.

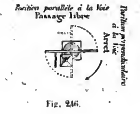


Fig. 246.

La manœuvre des signaux se fait à distance, au moyen de leviers et de fils de fer. La communication du mouvement dans l'appareil que nous venons de décrire, et qui est connu sous le nom de disque Bataille, a lieu de la manière suivante. A la partie inférieure de l'arbre en fer se trouve une équerre de même métal. Un des bras de cette équerre est mis en communication avec le fil de manœuvre; l'autre bras, plus long que le précédent, est muni d'un lourd contrepoids ayant pour effet, au moment où on efface le disque, de ramener le fil et de faire tourner le plateau.

Les variations de température exercent une influence souvent très-grande sur la longueur du fil de manœuvre. On peut, dans la plupart de ces appareils, raccourcir ou allonger le fil, et, par conséquent, en régler la tension au moyen de chaînes qui sont placées à l'extrémité du fil, et que l'on attache au levier de manœuvre à l'aide d'un crochet. On varie la longueur du fil en accrochant la chaîne par l'un ou l'autre de ses maillons. Ce moyen est imparfait;

et souvent le fil, n'étant pas convenablement tendu, n'a pu faire faire au disque sa révolution tout entière, et ne l'a même quelquefois pas déplacé.

On a remplacé les chaînes par des tendeurs à vis; mais ces tendeurs se remplissent de poussière qui en rend la manœuvre difficile, et ils n'ont pas toujours la course nécessaire pour arriver à vaincre les effets de la contraction ou de la dilatation des fils.

Les disques, dans le système que nous venons de décrire, ont encore un autre inconvénient, celui d'ébranler et d'éteindre quelquefois la lanterne.

On a, pour rendre la manœuvre de ces appareils plus sûre, imaginé différentes dispositions dont nous allons parler.

Au chemin de Lyon, le levier de manœuvre, qui a $1^{m},150$ de long, porte à sa partie inférieure un petit bras de $0^{m},387$ de long, formant avec le précédent un angle aigu très-ouvert.

A l'extrémité du petit bras est fixé par un écrou à vis un anneau dont l'œil est perpendiculaire à l'axe du levier. Dans cet anneau de forme particulière passe la chaîne qui fait le prolongement du fil de fer servant à la manœuvre du disque. Cette chaîne porte à son extrémité un poids qu'on charge à volonté afin de tendre le fil, qui roule sur deux poulies placées en avant du levier.

Quand on veut faire la manœuvre du disque, on renverse sur soi le levier. L'anneau dont nous avons parlé se trouve alors soulevé et embraye dans une des mailles de la chaîne, qu'il tire sans effort, puisque le poids, en descendant dans la fosse, agit en même temps et continue à tenir le fil tendu. A l'extrémité opposée du fil, au pied du disque, se trouvent une équerre et un poids chargés d'effacer le disque et de ramener le fil.

Il existe un autre système de levier qui se rapproche beaucoup du précédent. Il est appelé par son inventeur, M. Perret, *système de levier de manœuvre de disque à dilatation libre.*

Cet appareil est composé : 1° d'un levier; 2° d'une équerre en fer portant à l'extrémité de son grand bras un poids capable de vaincre l'inertie du fil de fer qui se trouve fixé dans un œil ménagé à l'extrémité du petit bras.

Cette équerre est montée sur le levier et roule librement sur son axe à quelques centimètres au-dessus du centre de rotation du levier. En déplaçant le levier pour faire le disque, on ne fait qu'allonger ou raccourcir le fil de la longueur de la course. Le fil se trouve toujours tendu, puisqu'une force constante agit sur ses deux extrémités.

Au chemin de l'Ouest, et dans de nouveaux disques construits pour le chemin de l'Est, on emploie un appareil inventé par M. Robert, afin de combattre les effets de la dilatation des fils de fer. Cet appareil se compose : d'un tambour sur lequel s'enroule une chaîne, à l'extrémité de laquelle est attaché un contre-poids qui rend le fil constamment rigide; d'un couvercle, sur lequel sont montés les flasques, et qui sert à fermer le tube dans lequel descend le poids chargé de tendre le fil; d'une roue dentée, et enfin d'un levier.

La roue dentée est adaptée au tambour, et tourne librement autour de son axe, sur lequel est monté un levier articulé dans le sens longitudinal et transversal; ce levier est garni d'un mentonnet destiné à venir s'enclancher dans une des dents de la roue fixe du tambour, et à imprimer à celui-ci un mouvement d'avant en arrière ou d'arrière en avant.

Lorsque la voie est ouverte, le levier a été déplacé transversalement, et, le mentonnet ayant échappé, la dent de la roue dans laquelle il est engagé a rendu libre celle-ci, et lui a laissé la faculté d'obéir aux effets de tension du fil.

Si, au contraire, le disque doit être mis à l'arrêt, on imprime au levier un léger mouvement de droite à gauche afin de ramener le mentonnet dans la dent de la roue correspondante, et l'on tire alors le levier, qui fait tourner le signal.

L'appareil Goubet est disposé de la manière suivante :

Dans ce système, le mouvement est communiqué au disque par deux fils. Employant l'un des fils pour *effacer* le disque, on se sert de l'autre pour le mettre à l'arrêt.

Ils sont l'un et l'autre liés par l'une de leurs extrémités à des leviers distincts M et M', fig. 247, à l'aide desquels on manœuvre le disque. Ces leviers portent le nom de *manettes*. Les deux manettes

doivent former un certain angle entre elles, en sorte que, l'une étant renversée en arrière, l'autre le soit en avant.

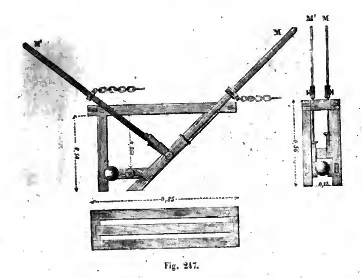


Fig. 247.

Au pied de l'arbre du disque (fig. 248), les fils passent sur des poulies de renvoi verticales P, et deviennent verticaux, puis ils sont attachés à deux leviers inclinés à l'horizon, L et L'. Ces leviers enclanchent à l'aide de cames avec un arbre A, dont l'axe est horizontal. Le levier L' étant au-dessus du plan horizontal, le levier L est au-dessous. L'arbre A porte une poulie à rochets dans laquelle s'enroule une chaîne avec un poids que l'on remonte à volonté. Il se termine enfin par une roue d'angle engrenant avec un pignon qui fait tourner un manchon enveloppant un arbre fixe. Le disque se trouve au sommet de ce manchon.

Tirant à soi la manette M renversée en avant, on déclanche le levier L', qui s'abaisse. L'arbre, entraîné par le poids, tourne et fait tourner le disque. Le levier L est soulevé. Le fil attaché à ce levier est tiré en sens contraire du fil attaché au levier L', et la seconde manette se renverse en avant, lorsque la première se renverse en arrière.

Les cames étant à angle droit, l'arbre A fait un quart de tour

quand on abaisse l'un des leviers, et trois quarts quand on abaisse l'autre. Les deux leviers ne peuvent se mouvoir indépendamment l'un de l'autre, un mécanisme spécial, composé de deux tringles

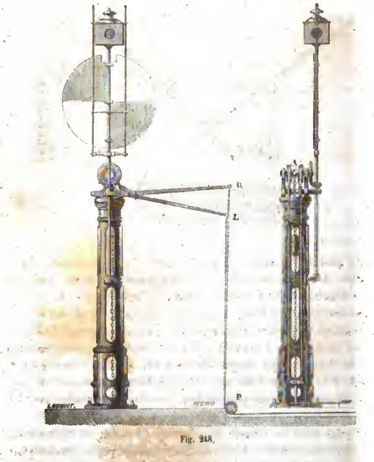


Fig. 248.

verticales et d'une petite bielle qui les réunit les rend solidaires, et un système particulier d'arrêt a été appliqué aux manettes afin de rendre la manœuvre du disque impossible à tout autre qu'à l'homme qui en est chargé. On ne saurait donc déplacer les leviers L et L', et ainsi manœuvrer le disque en tirant l'un des fils avec la main ;

car, en abaissant l'un des leviers, il faudrait soulever l'autre. On exercerait de cette manière sur le second fil un effort de traction qui ne pourrait le déplacer, puisqu'il est attaché à une manette qui est fixe si on n'agit sur l'autre manette.

La lanterne est fixée au manchon portant le disque. Le feu en est fixe, mais la carcasse en verre, reliée à ce manchon par des tringles, tourne avec le disque.

Le côté rouge du disque se montrant au travers de la voie, c'est aussi le verre rouge de la lanterne que le mécanicien aperçoit. C'est au contraire un verre blanc quand le disque est effacé.

Ce qui enfin caractérise l'appareil Goubet, c'est qu'un pétard vient, chaque fois que l'on met le signal à l'arrêt, se placer sur le rail et assurer la marche du train.

Ce pétard est fort utile en temps de brouillard et dans le cas où la lampe viendrait à s'éteindre.

Au chemin de fer de l'Est, on ne fait usage du pétard que dans les temps de brouillard.

Le disque et la lanterne de l'appareil Bara ne diffèrent pas de ceux de l'appareil que nous avons décrit le premier. La modification apportée par M. Bara, dans le but de rendre la manœuvre plus certaine, consiste dans l'adjonction d'un chariot mobile (fig. 249) passant devant le disque pour le faire fonctionner. Ce chariot se meut sur deux rouleaux reposant sur deux bouts de rails, et est maintenu latéralement par deux autres galets ; le tout est armé d'un manneton placé verticalement sur le milieu du chariot. Ce manneton doit, suivant les circonstances, venir appuyer sur l'un des bras d'une ancre placée à la partie inférieure de l'arbre du disque et le faire tourner dans un sens ou dans l'autre, suivant que le chariot vient en avant quand il est tiré ou s'en retourne quand on laisse libre le fil qui le retenait.

Afin de faciliter le retour du chariot, que rien ne rappellerait en arrière, puisque l'appareil n'a qu'un fil, on a ajouté un poids suspendu à une chaîne roulant sur une poulie verticale. La manœuvre se fait au moyen d'un treuil, et, si le fil venait à se rompre, le chariot, entraîné par le poids qui le guide, viendrait immédiatement fermer la voie.

Quelles que soient les différences de longueur du fil, la course du chariot est réglée de manière à tenir toujours le fil tendu et à faire fonctionner l'appareil, et, si quelque dérangement venait à se manifester, l'appareil fermerait aussitôt la voie.

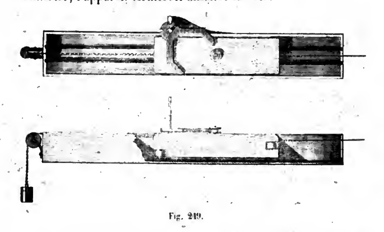
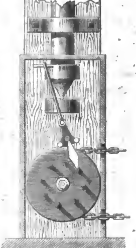


Fig. 249.

Le mouvement de rotation est imprimé au disque Rousseau au moyen d'un fil continu, ou fil sans fin, roulant sur deux poulies verticales à rochets : l'une qui est manœuvrée par l'employé de la station, l'autre qui est placée à la partie inférieure du poteau du disque, et imprime le mouvement à l'arbre du plateau. La première de ces poulies a $0^m,50$ de diamètre, et est manœuvrée à l'aide d'un levier à verrou semblable à ceux des changements de marche des machines locomotives. La seconde est armée de huit chevilles triangulaires plantées dans sa face extérieure (fig. 250). Ces chevilles triangulaires ont pour but d'accrocher un *détentillon* monté sur le levier imprimant le mouvement à l'arbre du mât du signal. Ce détentillon, qui peut se déplacer d'une certaine quantité sans exercer de pression sur l'arbre du disque, est taillé en forme de fer de lance. L'angle formé par les deux côtés de cette pièce est tel, que la poulie peut faire une partie de sa révolution autour de son axe, suivant les effets de la température, sans rencontrer l'extrémité de ce détentillon, et, par conséquent, sans déplacer le signal.

Le petit levier sur lequel est monté ce détentillon fait tourner l'arbre du disque au moyen d'un étrier à collier monté sur cet arbre.



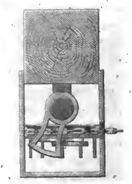


Fig. 250.

Deux disques répétiteurs sont établis dans le voisinage de la roue de manœuvre. Ils sont mis en mouvement à l'aide de deux glissières en tôle munies de pitons ayant la forme et les dimensions d'un secteur adapté au mât du signal dans lequel il s'enclanche. Un contre-poids, adapté aux deux répétiteurs par une double chaîne, permet de constater l'effet utile produit au disque par la force de traction. Il empêche en outre l'un des deux répétiteurs de fonctionner lorsque les fils sont en mauvais état d'entretien, et indique que l'appareil a besoin d'être nettoyé. Une course de fil de 0^m,15 à la roue motrice suffit pour faire tourner le grand disque, tandis qu'il faut une course de 0^m,40 pour imprimer le mouvement à l'un des disques répétiteurs. Ce disque répétiteur ne fonctionne donc qu'autant que le disque principal a lui-même changé de place.

La lanterne est fixée sur le poteau en charpente supportant l'arbre du disque, elle est par conséquent immobile. Au moment de mettre le signal à l'arrêt, un renvoi d'équerre vertical, fixé sur l'arbre du plateau, fait monter une tige supportant un diaphragme garni d'un verre rouge qui vient s'interposer entre l'œil et la lumière. — Un pétard-signal vient, comme dans l'appareil Goubet, se placer sur la voie quand le disque est fait.

Le disque Rousseau présente les avantages suivants : il peut être manœuvré à une distance quelconque; la position du disque prin-

cipal est signalée avec certitude par le disque répétiteur; la manœuvre ayant lieu sans qu'il y ait de choc, la lanterne n'est pas exposée à la rupture.

Sur plusieurs de nos grandes lignes, on a placé, à l'instar du chemin de Lyon, près du bureau du chef de station, un appareil électrique qui met en mouvement une sonnerie pendant tout le temps que le disque est à l'arrêt. M. le ministre des travaux publics a recommandé par une circulaire l'emploi de cet appareil, connu sous le nom de *trembleur électrique*.

M. Marqfoy, ancien élève de l'École polytechnique, inspecteur des télégraphes, est l'auteur d'un disque électrique perfectionné répétant le signal dans les stations. Ce disque paraît digne à tous égards de l'attention des ingénieurs; toutefois, comme il n'a pas encore été employé sur les chemins des environs de Paris, nous nous abstiendrons de le décrire, et nous nous bornerons à renvoyer à un mémoire plein d'intérêt publié par M. Marqfoy ceux de nos lecteurs qui désireraient l'étudier.

En Allemagne enfin, sur quelques chemins, tels que ceux de Breslau, d'Anhalt, et de Hamm à Cassel, dans le but de faire apercevoir au mécanicien, le plus loin possible, les signaux indiquant la voie *libre*, le *ralentissement* ou l'*arrêt*, on a compliqué la disposition des mâts d'un gros ballon en osier peint en rouge qui glisse sur une tringle et qu'on fixe en haut, au milieu ou en bas, selon que l'on veut faire un des trois signaux locaux[1].

Les appareils décrits précédemment sont tous manœuvrés par des hommes. Il nous reste à décrire les appareils *automoteurs*, c'est-à-dire ceux qui sont manœuvrés par la machine elle-même, au moment où elle passe devant l'appareil.

De ce nombre sont les appareils Limouse et Baranowsky.

Le disque Limouse est à deux fils et à contre-poids. — Il est manœuvré par le train en marche au moyen d'une pédale.

Le bourrelet de la roue, en venant appuyer sur la pédale, fait échapper un système de détente qui retenait le disque effacé. Un

[1] Note sur l'exploitation des chemins de fer à une voie en Allemagne, par M. Félix Mathias.

contre-poids fait alors tourner le plateau et met le disque au rouge. De la station on peut, au moyen de deux treuils, faire ou effacer le disque ; l'extrémité des fils est munie de petits poids ayant pour fonction de les tenir tendus et d'éviter ainsi les effets de la dilatation, et, suivant leur position, d'indiquer celle du disque.

Le disque et la lanterne ne diffèrent pas de ceux de l'appareil Bataille.

La manœuvre du disque Baranowski est fondée sur l'incompressibilité des liquides. Cette manœuvre a lieu au moyen d'un piston, d'un fil et d'un système de leviers, comme nous allons l'expliquer.

Le piston glisse dans un cylindre rempli de mercure. Il est composé de deux parties, l'une intérieure conique *c* percée d'un trou *t* qui la traverse dans toute sa hauteur, et l'autre extérieure *k*, qui enveloppe la partie conique. La première peut être considérée comme un véritable clapet. Lorsque le disque est effacé, le piston est au bas de sa course (fig. 251 A), et il est recouvert de mercure. Le train se présentant devant le signal, le boudin de la première roue de la machine vient rencontrer un contre-rail en bois garni d'une cornière en fer en contact par un seul point avec le rail de la voie, et le repousse brusquement. Le mouvement se transmet par une équerre E au fil F, qui fait tourner le disque au rouge et soulève le poids P, qui auparavant chargeait le piston. Devenu ainsi plus léger, le piston est entraîné par les contre-poids R et R', qui le font remonter jusqu'au sommet de sa course en suivant le poids P. Le clapet, abandonné alors à lui-même, descend, en vertu de la gravité et de la charge de mercure, d'une petite hauteur (B), et le mercure recouvrant le piston retombe par la lumière *t* au fond du cylindre. Le poids P, agissant de nouveau sur le piston, le fait descendre en provoquant l'ascension du mercure par le tube intérieur avec plus ou moins de vitesse, suivant que son orifice supérieur, réglé par un robinet, est plus ou moins grand. Le disque reste au rouge pendant tout le temps que le piston descend, et jusqu'à ce qu'il ait repris sa position A. On peut donc ainsi fermer les voies pendant un temps plus ou moins long, à volonté, temps qui peut être réglé sur celui qui doit s'écouler entre le passage de deux trains.

Au chemin de fer du Nord, on emploie en pleine ligne, et pour

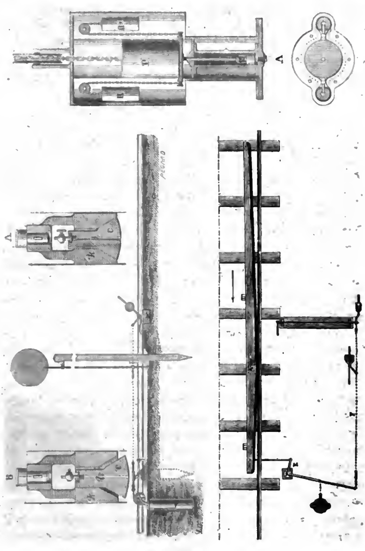


Fig. 251.

marquer le temps écoulé entre le passage de deux trains, un appareil qui fonctionne bien depuis près de six mois.

Cet appareil se compose d'un système de leviers et d'un poteau surmonté d'un cadran derrière lequel est un mouvement d'horlogerie qui peut marcher pendant une demi-heure. Une seule aiguille indique le laps de temps écoulé depuis le passage du dernier train. Un contre-rail articulé en son milieu se trouve placé en face du signal. Ce contre-rail, en s'éloignant brusquement au passage du train, abaisse une pédale. A ce moment, un poids qui lui est superposé descend et fait tourner un petit treuil auquel est attaché le poids du mouvement d'horlogerie, et le remonte. L'aiguille, qui avait parcouru tout ou partie de sa course, se trouve ainsi déplacée et revient à son point de départ (zéro du cadran). Indépendamment de cet indicateur, on a adapté à l'appareil un carillon qui est mis en mouvement par la même pédale. Ce carillon, à cloche ou à timbre, fonctionne pendant cinq minutes après le passage de chaque train.

Il nous reste, après avoir décrit les différents systèmes de disques employés, à indiquer quels sont leurs avantages et leurs inconvénients.

Parmi les systèmes de levier en usage pour obtenir une tension constante du fil servant à manœuvrer le disque Bataille, celui qui porte le nom de système Robert et le levier à anneau du chemin de Lyon, paraissent également efficaces.

Le disque Bara est assez simple de disposition. On l'a essayé sur le chemin de fer de l'Est, dans la gare de la Villette, mais dans de mauvaises conditions. L'essai en sera fait prochainement dans des conditions meilleures. On lui reproche la manœuvre au moyen d'une manivelle; on regarde l'emploi d'un levier comme plus sûr et plus rapide.

On a placé plusieurs disques Rousseau sur les chemins de Nancy à Metz et de Nancy à Epinal, et on en a été très-satisfait.

A Novéant, sur le chemin de Nancy à Metz, le disque est à 2,000 mètres de la station, et a toujours bien fonctionné.

Des expériences faites par M. Maucolin, conducteur des ponts et chaussées, ont constaté que, pour un allongement du fil de $1^m,80$, avec une course au levier de $1^m,15$ et à une distance de 2,000 mètres, la manœuvre avait encore lieu sans difficulté.

On trouvera, dans une des prochaines livraisons du *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, les plans complets des différents systèmes de disques, et le détail des prix de revient.

Le système Goubet a été employé pour un assez grand nombre de disques au chemin de fer de Mulhouse. Il ne donne pas encore toute satisfaction, mais on espère obtenir de meilleurs résultats lorsque les chefs de station en connaîtront mieux la manœuvre. On lui reproche la complication. L'inventeur s'occupe de le simplifier.

Les disques Limouse et Baranowsky ont le défaut de tous les appareils automoteurs. Tout appareil peut se déranger et est exposé aux atteintes de la malveillance. S'il cesse de fonctionner, personne n'est responsable, et les accidents deviennent inévitables. Ajoutons cependant que, pendant trois années consécutives, le disque Limouse, établi dans la gare de Château-Thierry, a toujours fonctionné parfaitement. Quant au disque Baranowsky, il n'est établi que depuis peu de temps sur le chemin de Saint-Germain.

On est très-satisfait au chemin de Lyon des trembleurs électriques.

Quand les voies aux abords des stations sont rectilignes, le chef de station peut toujours s'assurer que le disque a bien fonctionné; mais, dans les stations en courbe, souvent il ne le peut pas.

On a établi dans ce cas des disques répétiteurs en vue du chef de station, on adopté telle autre disposition, telle par exemple que les leviers en croix de M. Goubet, pour indiquer la position du signal; mais on n'a malheureusement trouvé jusqu'à présent aucun moyen d'indiquer l'état des lampes, qu'on ne peut apercevoir, et malheureusement ces lampes s'éteignent quelquefois, surtout dans les temps de forte gelée. On nous a présenté à la vérité un appareil électrique ayant pour objet de remplir cette lacune; mais cet appareil, fort ingénieux d'ailleurs, n'a pas encore reçu la sanction de l'expérience. On essaye enfin en ce moment, au chemin de l'Est, des huiles de schiste, dont le principal avantage serait, à ce qu'il paraît, de rester liquides à toute température.

DOCUMENTS

NOTE SUR LES FRAIS DE TRANSPORT DE TERRASSEMENT ET DE BALLAST

PAR M. BRADANT, INGÉNIEUR, CHEF D'ARRONDISSEMENT AUX CHEMINS DE FER DE L'EST

Les transports par les moyens ordinaires, la brouette et le tombereau, et même ceux au camion et à dos de mules, ne comportent qu'un petit nombre d'éléments. Les moyens à employer sont simples et d'un usage général ; aussi les prix de transport sont-ils jusqu'à un certain point indépendants des volumes à transporter et du temps accordé pour l'exécution. Il suit de là qu'on peut établir aisément des formules qui donnent avec assez d'exactitude les prix de transport avec les seuls éléments suivants :

1° Prix de main-d'œuvre ;

2° Poids des terres ;

3° Nature du sol sur lequel on roule.

Il n'en est pas de même pour les transports en waggons, parce que les moyens sont d'un établissement très-coûteux et très-compliqué, et qu'indépendamment des trois éléments qui précèdent il y a les quatre suivants, qui ont une grande influence sur les prix de transport :

1° L'importance des volumes à transporter ;

2° Les distances de transport ;

3° Le temps accordé pour l'exécution ;

4° Le matériel des voies en fer et des waggons, et les conditions dans lesquelles on se trouve pour se le procurer et pour s'en défaire avec plus ou moins de perte après les travaux achevés.

Limite des volumes. — Les transports en waggons sur voies provisoires exigent des frais d'établissement considérables, qui sont loin de croître dans le même rapport que les volumes transportés, et dans lesquels on ne peut rentrer qu'avec des cubes d'une certaine importance; il s'ensuit que, plus les volumes à transporter sont faibles, plus les prix de transport sont élevés, et que, par suite, à moins d'avoir un matériel sur

place, les transports sur voies provisoires cessent d'être praticables pour les cubes qui n'atteignent pas au moins 25,000 mètres.

Limite de distance. — D'un autre côté, il y a avec les transports au waggon, à la charge et à la décharge, des frais de remaniement et diverses mains-d'œuvre qui n'existent pas pour les autres modes de transport et qui s'élèvent de 0f,20 à 0f,25 par mètre cube. A cette dépense il faut ajouter celle des waggons, des changements de voie et quelquefois d'autres appareils dont on a besoin sur les points de chargement et de déchargement. Tous ces frais étant indépendants des distances parcourues, il s'ensuit que, pour de faibles distances, les transports en waggons coûtent plus que ceux au tombereau. Les distances minimum variables suivant les volumes à transporter peuvent descendre :

Pour des cubes de 100,000 mètres à 300 mètres,

Et pour des cubes de 25,000 mètres à 500 mètres.

CAS EXCEPTIONNELS OU L'ON DESCEND POUR LES VOLUMES A TRANSPORTER ET POUR LES DISTANCES DE TRANSPORTS AU-DESSOUS DES LIMITES INDIQUÉES.

Quoi qu'il en soit, il arrive quelquefois que, les transports au tombereau étant impraticables, soit à cause de la nature ou de la position du sol, soit à cause de la saison, on est conduit à avoir recours aux transports en waggons pour des volumes et pour des distances fort au-dessous de celles qui sont indiquées ci-dessus comme des minimum.

Formules. — Il suit de la multiplicité des éléments qui doivent entrer dans les formules pour transports en waggon et de la complexité de quelques-uns, qu'elles ne peuvent rigoureusement être établies que pour des cas spéciaux et qu'après une estimation préalable des frais de toute espèce, et notamment de ceux de matériel, pose de voies, dépose, repose, etc.

Cependant, comme ces sortes d'estimation exigent du temps et des recherches, et qu'il est souvent utile de pouvoir apprécier à peu près les prix de transports en waggon dans différents cas, on a donné ci-après trois formules dans lesquelles il est tenu compte des principaux éléments qui forment la base des prix dans les cas les plus ordinaires. Ces formules sont applicables pour des transports avec waggons ordinaires de terrassements, traînés sur voies provisoires par des chevaux marchant au pas.

La formule n° 1 est de M. Duvignaud, ingénieur en chef des ponts et chaussées : elle a été faite pour des travaux de la 2e section du chemin de fer d'Orléans à Bordeaux, exécutée entre Poitiers et Libourne.

On faisait varier, suivant les circonstances, les constantes en chiffres. Celles qui sont ici se rapportent à la tranchée des Bachées; contenant un volume de déblais de 60,000 mètres transportés à une distance moyenne

de 1,700 mètres, avec waggons neufs et voies provisoires formées de bandes de fer de 0m,075 sur 0m,02 posées de champ sur de petites traverses en bois blanc.

Les prix résultant de cette formule ont été sensiblement ceux de revient payés par l'entrepreneur qui a exécuté les terrassements de cette tranchée.

La seconde formule a été appliquée au chemin du Nord pour le cas où la plus grande partie des voies provisoires serait formée avec des rails définitifs et l'autre partie avec des rails provisoires.

La troisième formule a été faite par moi en 1847 dans le but de calculer approximativement les frais de transport en waggon pour les tranchées qui étaient à ouvrir sur la ligne de Lille à Dunkerque. Cette formule suppose qu'on aura un matériel de waggons neufs circulant sur des voies provisoires formées avec un matériel provisoire; mais elle peut être appliquée sans erreur bien sensible au cas où l'on ferait usage de matériel définitif, parce que les dépenses ne diffèrent pas beaucoup et qu'elles sont même à peu près égales quand les volumes à transporter ont une certaine importance.

Ce qui fait croire à beaucoup de personnes à une grande différence dans la dépense, suivant qu'on fait usage d'un matériel provisoire ou d'un matériel définitif, c'est que, dans ce dernier cas, on porte souvent beaucoup trop bas la moins-value des rails définitifs employés dans les voies provisoires, parce qu'au lieu de compter la moins-value tout entière, on n'en compte souvent que la plus faible part.

En faisant usage, pour l'exécution, d'un matériel provisoire, on a l'avantage de pouvoir livrer à l'exploitation un matériel neuf; mais les transports se font moins vite et moins aisément, et l'on est obligé de payer tout de suite la moins-value du matériel de voies provisoires. D'une part, les frais de pose et d'entretien sont moins élevés; mais, d'autre part, les frais de traction et l'entretien des waggons coûtent davantage. En faisant usage du matériel définitif pour les voies provisoires, on se donne des facilités de transport et par suite les moyens d'activer les travaux. Les dépenses les plus fortes de moins-value du matériel des voies se trouvent tout naturellement reportées sur un avenir éloigné, mais on est presque toujours obligé de livrer à l'exploitation un matériel plus ou moins défectueux. Cet inconvénient n'est pas, du reste, aussi grave qu'on pourrait le penser, parce qu'il est presque toujours possible d'employer le matériel défectueux soit dans les gares, soit sur des embranchements de peu d'importance.

Le choix à faire pour les voies provisoires entre les deux espèces de matériel dépend de la position dans laquelle on se trouve.

Nous n'insisterons pas ici davantage sur les différences qui peuvent exister entre les moins-values d'un matériel définitif et celles d'un maté-

riel provisoire, parce que les grandes différences que l'on fait trop ordinairement ne portent guère que sur les rails, et que nous donnerons sur cet objet des détails assez étendus à la fin de cette note.

Nous passerons donc tout de suite aux trois formules annoncées d'autre part, concernant les transports avec waggons de terrassements ordinaires, remorqués par des chevaux.

(1) *Première formule* pour le transport de terrassements en waggon, appliquée par M. l'ingénieur en chef Duvignaud, sur les parties du chemin de fer d'Orléans à Bordeaux situées aux environs de Vivonne.

Elle comprend les mains-d'œuvre supplémentaires pour chargement et déchargement, les faux frais, le bénéfice de l'entrepreneur, la fourniture des waggons et des voies formées de bandes en fer de 0,075 sur 0,02 posées de champ et sans coussinets sur de petites traverses en bois blanc.

Formule pour les ateliers où les voies servent pour la première fois :

$$\left[\left(\frac{L+8}{M}\times 900^{f}\right)+0^{f},25+0^{f},045\,D\pm D\,I\right]$$

Formule pour les ateliers où les voies servent pour la seconde fois :

$$\left[\left(\frac{L+8}{M}\times 250^{f}\right)+0^{f},25+0^{f},045\pm D\,I\right]$$

Dans lesquelles :

L représente la longueur cumulée des déblais et des remblais exprimés en hectomètres;

M le volume des déblais transportés, exprimés en mètres;

D la distance entre les centres de gravité des déblais et des remblais exprimés en kilomètres;

I la déclivité.

(2) *Seconde formule*, appliquée au chemin du Nord pour des transports en waggons, y compris la main-d'œuvre pour chargement et déchargement, les faux frais et le bénéfice de l'entrepreneur.

Le prix du transport au waggon sera déterminé par la formule

$$X=\frac{15\,D+2,000}{M}\;0,00051\,D+0,40\;(C).$$

Dans laquelle :

D représente la distance du transport exprimée en mètres;

M le cube total du déblai à transporter au waggon et dans lequel on suppose :

1° Que la longueur des voies provisoires avec rails définitifs serait 5 D;

2° Que la longueur des voies provisoires, établies sans rails définitifs, serait 500 mètres;

3° Que le développement total des voies posées, déplacées ou enlevées pour l'exécution des travaux, serait 6 D.

Il sera tenu sur le chantier attachement contradictoire de ces diverses longueurs, et la valeur des différences avec les quantités prévues ci-dessus sera décomptée à l'entrepreneur, soit en plus, soit en moins, au prorata des prix n[os] 7, 8 et 9.

(3) *Troisième formule*, faite par moi en 1847 dans le but de calculer approximativement les frais de transport en waggon pour la tranchée à ouvrir sur la ligne de Lille à Dunkerque

Elle comprend la fourniture et l'entretien de matériel waggon et voies provisoires formées avec un matériel provisoire[1], les frais de pose, dépose, repose et entretien des voies, les mains-d'œuvre supplémentaires pour chargement et déchargement, et généralement toutes les dépenses, sauf celles de fouille et charge.

$$\left[\left(\frac{D+20}{M}\times 0^{f},50\right)+0^{f},40+0^{f},04\,D\right]$$

Dans laquelle :

D représente la distance de transport en hectomètres;

M le volume à transporter, exprimé en milliers de mètres.

On trouvera ci-après un tableau A dans lequel les frais de transport sont calculés d'après les formules qui précèdent pour des cubes de 25,000 à 300,000 mètres, et pour des distances de 500 à 3,000 mètres.

Enfin, comme il peut être utile de faire des comparaisons approximatives entre les prix des différents modes de transport, on a mis à la suite un tableau comparatif B, où se trouvent en regard les prix moyens de revient pour différents modes de transport : brouette, camion, mule, tombereau, waggon de terrassements traînés sur voies provisoires par des chevaux marchant au pas; waggon de terrassements traîné par des locomotives à 12 kilomètres à l'heure; plates-formes remorquées par des locomotives à 25 kilomètres à l'heure, et bateaux de différentes grandeurs.

[1] Pour des cubes d'une certaine importance, elle peut être appliquée au cas où les voies provisoires seront formées avec le matériel définitif.

A. Tableau des prix pour transport d'un mètre cube de déblai ou de ballast avec waggons de terrassement ordinaires traînés par des chevaux sur des voies provisoires.

1° D'après les formules de M. Duvignaud avec wagons et voies provisoires servant pour la première fois

$$\left[\left(\frac{L+8}{M} + 900^f\right) + 0,25 \pm 0,045\,D\,I. \right]$$

Distance des transports	25000	50000	75000	100000	150000	200000	300000
500	1,231	0,853	0,727	0,664	0,601	0,570	0,538
1000	1,636	1,188	1,012	0,934	0,858	0,817	0,778
1500	1,041	1,483	1,297	[illegible]	1,111	1,085	1,018
2000	2,446	1,798	1,582	1,474	1,366	1,312	1,258
2500	2,851	2,113	1,867	1,744	1,621	1,560	1,498
3000	3,258	[illegible]	[illegible]	2,014	1,876	1,807	1,738

OBSERVATIONS.

M. Volume à transporter exprimé en mètres cubes.
D. Distance des transports exprimée en hectomètres.
L. Distance entre les extrémités des déblais et des remblais exprimée en hectomètres.
I. Déclivité.

2° D'après une formule employée au chemin du Nord avec wagons de terrassement et voies provisoires formées avec les rails définitifs sur la presque totalité de la distance à parcourir.

$$\left[\frac{15\,D + 2000}{M}\; 0^f,00031\,D + 0^f,40. \right]$$

Distance des transports	25000	50000	75000	100000	150000	200000	300000
500	0,935	0,745	0,882	0,850	0,818	0,603	0,587
1000	1,390	1,050	0,937	0,880	0,823	0,795	0,767
1500	1,845	1,353	1,192	1,110	1,028	0,988	0,947
2000	2,300	1,680	1,447	1,340	1,233	1,180	1,127
2500	2,755	1,965	1,702	1,570	1,438	1,373	1,307
3000	3,210	2,270	1,957	1,800	1,643	1,565	1,487

M. Volume exprimé en mètres cubes.
D. Distance de transport exprimée en mètres courant.

3° D'après une formule de M. Brabant faite dans le but d'estimer les prix de transport des déblais au wagon à faire dans la tranchée de Lille à Dunkerque avec wagons neufs et voies provisoires, ces voies étant supposées horizontales et le poids des déblais être de 1600 kilogr.

$$\left(\frac{D+20}{M} \times 0^f,50\right) + 0^f,40 + 0^f,04\,D.$$

Distance des transports	25000	50000	75000	100000	150000	200000	300000
500	1,100	0,850	0,767	0,725	0,883	0,663	0,642
1000	1,400	1,100	1,000	0,950	0,900	0,875	0,850
1500	1,700	1,350	1,233	1,175	1,118	1,088	1,058
2000	2,000	1,600	1,467	1,400	1,333	1,300	1,267
2500	2,300	1,850	1,700	1,825	1,550	1,513	1,475
3000	2,600	2,100	1,933	1,850	1,768	1,725	1,683

M. Volume à transporter exprimé en milliers de mètres
D. Distance des transports en hectomètres.

Les différences que l'on remarque dans les prix tiennent à plusieurs causes dont les principales me paraissent être les suivantes :

1° La manière de voir les choses qui est bien rarement la même dans des appréciations de cette espèce.

2° Les circonstances différentes dans lesquelles on se trouvait sur les lignes pour lesquelles ces formules ont été dressées.

B. Tableau comparatif des prix moyens pour le transport sur voies horizontales d'un mètre cube de terre ou de ballast du poids moyen de 1,600 kilogrammes.

Distance des transports.	Indication des modes de transport										
					Pour un volume de 100000 mètres transportés sur voies provisoires avec wagons ordinaires de terrassement.		Pour un volume de 20 000 mètres remorqués sur voies définitives par des locomotives à une vitesse de 25 kilom. à l'heure.			Sur des cours d'eau non compris les frais de chargement et de déchargement et ceux de transport du lieu d'extraction au bateau et du bateau au lieu d'emploi.	
	à la brouette.	au camion traîné par des hommes.	à dos de mule.	au tombereau traîné par des chevaux.	Traînés par des chevaux marchant au pas.	Remorqués par des loc. à une vitesse de 12 kil. à l'heure.	En comptant tous les frais.[1]	En ne comptant pas la dépense des voies.	En comptant seulement la dépense des véhicules de transport.	En grand bateau (30m cubes)	En petit bateau (2m cubes)
Formules.	0,450D	0,10 + 0.25D	0,20 + 0,25D	0,30 + 0.12D	0,50 + 0.045D	0,50 + 0.036D	0,45 + 0.01D	0,45 + 0.005D	0,20 + 0,005D	0,24 + 0.004D	0.08 + 0.008D
10	0,045	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
20	0,090	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
30	0,135	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
40	0,180	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
50	0,235	0,225	0,325	.	.	.	.	.	.	.	.
60	0.270	0,250	0,350	.	.	.	.	.	.	.	.
70	0.315	0,275	0,375	.	.	.	.	.	.	.	.
80	0,360	0,300	0,400	.	.	.	.	.	.	.	.
90	0,405	0,325	0,425	.	.	.	.	.	.	.	.
100	0,450	0 350	0,450	0,420	0,545	0,596	0,460	0,455	0,205	0,244	0,088
120	0,540	0,400	0,500	0,444	0,554	0,603	0,462	0,456	0,206	0,245	0,090
140	0 630	0,450	0,550	0 468	0,563	0,610	0,464	0,457	0,207	0,240	0,091
160	0,720	0,500	0,600	0,492	0,572	0,018	0,400	0,458	0,208	0,240	0,093
180	0,810	0,550	0,850	0 510	0,581	0,024	8,408	0,458	0,209	0,247	0,094
200	0,900	0 000	0,700	0,540	0,590	0,632	0,470	0,460	0,210	0,248	0,096
300	.	0,850	0,950	0,080	0,035	0,008	0,450	0,765	0,215	0,252	0,104
400	.	1,100	1,200	0,780	0,080	0,704	0,490	0,470	0,220	0,250	0,112
500	.	1,350	1 450	0 900	0,725	0,740	0,500	0,475	0,225	0,260	0,120
600	.	1,000	1,700	1,020	0,770	0,778	0,510	0,480	0,230	0,264	0,128
700	.	1,850	1,850	1,140	0,815	0,812	0,520	0,485	0,235	0,268	0,130
800	.	2,100	2,200	1,260	0,800	0,848	0,530	0,490	0,240	0,272	0,144
900	.	2,350	2,450	1,380	0,905	0,884	0,540	0,495	0,245	0,270	0,152
1000	.	2,600	2,700	1,500	0,850	0,920	0,550	0,500	0,250	0,280	0,160
1100	.	.	.	1,820	0,995	0,950	0,540	0,505	0,255	0,284	0,108
1200	.	.	.	1,740	1,040	0,982	0,570	0,510	0,260	0,288	0,176
1300	.	.	.	1,860	1,085	1,028	0,580	0,515	0,265	0,292	0,184
1400	.	.	.	1,880	1,130	1,064	0,590	0,520	0,270	0,296	0,192
1500	.	.	.	2,100	1,175	1,100	0,600	0,525	0,275	0,300	0,200
1600	.	.	.	2,220	1,220	1,130	0,010	0,530	0,280	0,304	0 208
1700	.	.	.	2,340	1,765	1,172	0,620	0,535	0,285	0,308	0,216
1800	.	.	.	2,460	1,310	1,208	0,630	0,540	0,290	0,312	0,224
1900	.	.	.	2 580	1,350	1,244	0,040	0,545	0,295	0,310	0,232
2000	.	.	.	2,700	1,400	1,280	0,050	0,550	0,300	0,320	0,240
2500	.	.	.	.	1,625	1,460	0,700	0,575	0,325	0,340	0,280
3000	.	.	.	.	1,850	1,640	0,750	0,600	0,350	0,360	0,320
4000	.	.	.	.	.	2,000	0,850	0,050	0,400	0,400	0,400
5000	.	.	.	.	.	2,360	0,950	0,700	0,450	0,440	0,480
10 000	.	.	.	.	.	4,160	1,450	0,950	0,700	0,640	0,880
15 000	.	.	.	.	.	5,960	1,950	1,200	0,950	0,840	1,280
20 000	.	.	.	.	.	.	2,450	1,450	1,200	1,040	1,080
25 000	.	.	.	.	.	.	2,950	1,700	1,450	1,240	2,080
50 000	.	.	.	.	.	.	5,450	2,950	2,700	2,240	4,080

1. Voies de fer, wagons, remaniement des déblais, déchargement, etc., etc.

Bases adoptées dans les calculs du tableau comparatif B. — Pour calculer les prix de transport portés au tableau comparatif B, on a supposé :

1° Que le poids des matières à transporter, déblais ou ballast, était de 1,600 kilog. par mètre cube;

2° Que tous les transports se feraient sur voie horizontale;

3° Que les volumes à transporter par waggons étaient par voies provisoires avec waggons de terrassement de 100,000 mètres sur voie définitive avec waggons plates-formes de 20 mètres. Il est bien entendu que si les éléments changeaient les prix varieraient aussi.

Influence du poids des matières à transporter. — Dans le cas où les poids différeraient sensiblement de celui de 1,600 kilog., les prix portés aux colonnes n°ˢ 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 subiraient des augmentations ou des diminutions proportionnelles aux poids des matériaux à transporter.

Pour les prix portés dans les colonnes n°ˢ 5 et 6, dans lesquels il entre des éléments d'une grande importance qui ne varient pas comme les poids à transporter, on ne devra prendre qu'une partie des différences qui existent entre les poids réels et celui de 1,600 kil. On s'éloignerait peu de la vérité en adoptant la moitié.

Modifications résultant des rampes et des pentes. — On tiendra compte des rampes de la manière suivante :

Pour les transports à la brouette, au camion, à dos de mule et au tombereau, on ajoutera aux distances mesurées en plan un supplément égal à 10 fois la hauteur qui existe entre les centres de gravité de déblais et de remblais.

Pour les transports en waggon, on ajoutera 40 fois cette même hauteur; enfin, pour les transports en bateaux, 1,000 fois cette même hauteur quand elle sera franchie au moyen de la déclivité du courant. Quand elle sera franchie par des écluses, on comptera pour chacune de 10 à 15 minutes de temps perdu, suivant que les chutes sont plus ou moins hautes.

On tiendra compte des pentes en retranchant des distances horizontales la moitié des quantités qu'on ajoute pour les rampes.

Les réductions à effectuer ne doivent pas se faire d'une manière indéfinie : elles devront s'arrêter à la limite où la pente sera assez forte pour que les efforts nécessaires pour remonter le matériel vide égalent ou commencent à dépasser ceux à faire pour descendre le véhicule chargé. En somme, il faut peu compter sur les réductions résultant des pentes. En pratique, elles ne reçoivent que de très-rares applications.

Influence du volume à transporter. — On peut voir par le tableau A, qui se rapporte à des transports avec waggons de terrassement sur voies provisoires, que la différence entre les volumes à transporter en apportera d'assez notables dans les prix de transport. Ces différences sont beaucoup

moins fortes pour des transports effectués avec des waggons plates-formes sur les voies définitives, parce que les frais d'établissement sont peu élevés et qu'il n'y a en quelque sorte à tenir compte que des dépenses proportionnelles aux volumes transportés.

Comparaison entre les prix du tableau B. — Pour que des comparaisons soient possibles entre les prix de transports effectués par les moyens ordinaires, la brouette, le tombereau, et ceux effectués en waggon, il faut que l'on tienne compte pour ces derniers de tous les frais de matériel et de supplément de main-d'œuvre à la charge et à la décharge; c'est ce qu'on a fait ici pour les prix des colonnes n°s 5, 6 et 7. Dans les prix des colonnes n°s 8, 9, 10 et 11, on n'a porté qu'une partie des éléments nécessaires pour compter les transports. Aussi n'y a-t-il de comparaison à faire qu'entre les colonnes n°s 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Il serait superflu de donner des détails sur les éléments qui ont servi à établir les prix des quatre premières colonnes; mais on croit utile d'indiquer ici ceux qui sont entrés dans la comparaison des prix pour les transports en waggon. Les éléments concernant ces derniers sont, pour les colonnes n°s 5, 6 et 7 :

Matériel des ateliers des voies en fer et des waggons moins-value, entretien, pose, dépose, repose, etc.;

Transport proprement dit, frais de traction, graissage de waggons, formation des convois, manœuvres des aiguilles et nettoyage des voies;

Déblais, remaniement à la charge, ouverture de cunette et déchargement.

Dans la colonne n° 8, on a compté tout ce qui est porté ci-dessus par les colonnes n°s 5, 6 et 7, excepté les dépenses concernant les voies moins-value, pose, dépose, repose, entretien.

Dans la colonne n° 9, on a compté seulement ce qui concerne les transports proprement dits, frais de matériel des véhicules employés aux transports, locomotives et waggons moins-value, entretien et graissage, frais de traction, manœuvres des aiguilles et nettoyage des voies.

Dans les colonnes 10 et 11 j'ai indiqué des prix de transport en bateau; mais ils ne peuvent être comparés avec ceux des sept premières colonnes, parce qu'ils ne contiennent ni les frais de chargement et de déchargement, ni les frais de transport du lieu d'extraction au bateau et du bateau au lieu d'emploi. Ces frais, qui ne peuvent jamais descendre au-dessous de ceux de déchargement, au moins 0f.20, peuvent, on le conçoit, s'élever d'une manière illimitée, et par suite on ne peut leur assigner aucun chiffre.

Les prix de transport sont aussi extrêmement variables, suivant qu'on fait usage de bateaux plus ou moins grands.

Ces prix de transport proprement dit sont en raison inverse de la grandeur des bateaux dont on fait usage. Au contraire, les frais de temps

perdu à la charge et à la décharge sont en raison directe de la grandeur des bateaux.

On conçoit par suite que les prix doivent varier dans des limites très-grandes qui n'ont de bornes que les dimensions des bateaux dont on peut faire usage.

Pour ne pas trop multiplier le nombre des colonnes du tableau comparatif, on s'est borné ici à indiquer les prix correspondants à deux espèces différentes, ceux d'une contenance de 30 mètres traînés par un seul cheval, et ceux d'une contenance de 2 mètres traînés par un homme.

OBSERVATIONS DIVERSES

DE LA COMPARAISON QUI PEUT ÊTRE FAITE ENTRE LES PRIX PORTÉS AUX TABLEAUX A ET B QUI PRÉCÈDENT ET CEUX PORTÉS DANS UN TABLEAU DRESSÉ PAR M. BRABANT, 1838, A LA SUITE D'UNE NOTE POUR LE TRANSPORT EN WAGGON DE TERRASSEMENT ET DE BALLAST, PUBLIÉE VERS 1842 DANS LE PORTEFEUILLE DE L'INGÉNIEUR DES CHEMINS DE FER, PAR MM. PERDONNET ET POLONCEAU.

Vers 1842, il a été publié, dans le *Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer*, par MM. Perdonnet et Polonceau, un tableau de prix de transport que j'avais dressé en 1838 d'après ceux de revient de la tranchée de Clamart sur le chemin de Paris à Versailles, rive gauche.

Si l'on voulait établir des comparaisons entre les prix portés dans ce tableau et ceux qui se trouvent dans les tableaux A et B qui précèdent, il faudrait d'abord retrancher des premiers les fouille et charge, comprises pour 0f,60, prix de revient, payés à la tranchée de Clamart, qui a été ouverte dans une marne très-compacte, mêlée de terre et de caillasse d'une extraction très-difficile.

La comparaison qu'on pourrait faire après cette soustraction opérée ferait reconnaître que les prix de transport en waggons sont beaucoup plus élevés dans le tableau de 1838 que dans ceux qui précèdent.

Les différences tiennent aux circonstances suivantes :

1° Que ces sortes de transport ont, depuis seize ans, subi une baisse à peu près égale à celle qui s'est produite sur les transports effectués dans les chemins de fer en exploitation.

Cet abaissement dans les prix de transport est dû à celui des objets de matériel et à l'expérience que l'on a acquise depuis cette époque.

2° Que les chiffres portés dans le tableau B qui précède sont des prix moyens, tandis que ceux portés dans le tableau de 1838 se rapportaient à la tranchée de Clamart, exécutée à 6 kilomètres de Paris et dans un rayon où le prix de revient des travaux est très-élevé.

3° Que les déblais de cette tranchée étaient d'un poids énorme qui dépassait la moyenne ordinaire des terres et qu'ils foisonnaient de 50 p. 100.

Enfin, que les travaux ont été, par des motifs qui n'ont pas besoin d'être exposés ici, poussés avec une activité exceptionnelle, au point que l'on a conduit par jour de 12 heures et par un seul versant jusqu'à 1,500 mètres cubes de terre mesurée au déblai.

OBSERVATIONS

SUR LES PRIX DE LA MOINS-VALUE DES RAILS DÉFINITIFS EMPLOYÉS DANS LES VOIES PROVISOIRES.

Des appréciations faites par MM. Thiollier et de Mondésir. — Dans deux mémoires riches de faits et d'observations judicieuses [1], MM. Piarron de Mondésir et Thiollier, ingénieurs des ponts et chaussées, ont traité avec beaucoup de talent la question de transport de terrassements en waggons.

Mais ils ont, suivant moi, évalué beaucoup trop bas la moins-value des rails définitifs employés dans les voies provisoires, et, comme les chiffres qu'ils ont donnés doivent, contrairement à ce que j'ai dit au commencement de cette note, à l'occasion de la formule n° 3, faire penser que l'emploi des rails définitifs présente sur l'emploi des rails provisoires une très-grande économie, j'ai cru devoir combattre leurs chiffres et démontrer qu'ils ne contiennent qu'une partie de la moins-value, et la plus faible.

Dans son mémoire, pages 281 et 282, M. de Mondésir, parlant de la moins-value des rails et des coussinets, dit qu'il n'a pas encore été à même de calculer par l'observation sur les chantiers la moins-value du matériel. Il cite un rapport de M. l'inspecteur Kermaingant, qui aurait évalué cette moins-value à 0,59; il dit savoir qu'au chemin de Rouen, où les rails pèsent 35 kilogrammes, le mètre courant de cette moins-value a été payé 0,50 par mètre courant de rail.

Faisant remarquer que la moins-value doit croître avec l'importance des tranchées, il l'estime par mètre courant de rail à 0f,45, à 0f,50 et 0f,55, suivant qu'ils ont été employés dans des tranchées petites, moyennes et grandes.

Il parle ensuite des traverses, chevillettes et coins, en sorte qu'il est évident que les chiffres cités par lui s'appliquent aux rails et aux coussinets, et que, par conséquent, pour avoir la moins value des rails, il faudrait diminuer de ces chiffres, déjà très-faibles, la part attribuée aux coussinets.

Dans son article, page 229, M. Thiollier estime la moins-value pour les rails de 4m,50, pesant 30 kilogrammes, à $\frac{1}{10}$ de leur valeur primitive, qu'il porte à 365f la tonne, ce qui ferait environ 0f,27 par mètre courant de rails.

[1] Ces mémoires ont été insérés dans les 5e et 6e cahiers des *Annales des ponts et chaussées* de 1847 et 1849.

Pour des rails qui ont perdu une partie de leur poids par suite de l'usure, M. Thiollier compte seulement la petite quantité de matière manquante, au prix d'acquisition, sans tenir compte de l'élément bien plus important, la diminution de durée que cette petite perte entraîne, comme si des rails pouvaient servir jusqu'à ce qu'ils soient entièrement consommés, tandis qu'au contraire ils se trouvent hors de service après avoir perdu une très-faible partie de leur poids.

Pour des rails dont les arêtes sont endommagées, M. Thiollier ne compte que la main-d'œuvre d'ajustement pour mettre les rails en état de service, et rien du tout pour le tort si important que l'usure des arêtes fait incontestablement subir aux rails, dont la durée se trouve par ce fait abrégée d'une manière extrêmement notable :

Expertise constatant la moins-value des rails définitifs employés dans les voies provisoires pour l'exécution des travaux du chemin de fer d'Orléans à Bordeaux. — Dans les expertises faites sur le chemin de fer d'Orléans à Bordeaux dans le but de constater la moins-value des rails définitifs prêtés par la compagnie à l'État, pour servir à l'exécution des travaux, les bases qui ont servi aux évaluations étaient plutôt faibles que fortes, et elles ont donné pour la moins-value d'un mètre courant de rail :

Dans la première section	0f,91
Dans la seconde section.	1 ,71

Dans la première section, les experts étaient : pour l'État, M. Maniel, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé du service des travaux et de la surveillance du chemin de fer du Nord; pour la Compagnie, M. Flachat, ingénieur en chef du chemin de fer de Saint-Germain et de Versailles.

Dans la seconde section, l'expertise a été faite par moi pour le compte de l'État, et pour le compte de la Compagnie par un de ses agents.

La base des évaluations a été celle posée dans la première expertise par MM. Maniel et Flachat.

Ce qui a donné lieu à la grande différence entre les évaluations, c'est que les rails dans la seconde section avaient beaucoup plus servi que dans la première.

A la tranchée de Clamart, la moins-value pour des rails de 4m,50 de longueur pesant 30 kilogrammes a été calculée en 1858 en prenant pour base un prix de 400f la tonne.

Les résultats de calculs ont donné pour un mètre courant de rails 1f,75.

Ils avaient supporté un mouvement de 192,000 mètres cubes de déblais transportés à une distance de 1,500 mètres sur un développement de voies de 6,000; soit 48,000 mètres cubes par mètre courant de voie.

Les autres objets de matériel qui entrent dans la composition des voies

m'ont paru estimés d'une manière convenable dans les différentes publications parvenues à ma connaissance. Je n'en parlerai ici que pour dire qu'il en est de ces objets comme des rails, c'est-à-dire que la dépense de moins-value ne diffère guère, quel que soit le matériel dont on fait usage.

Je terminerai cette note par des citations extraites des passages de leur mémoire où MM. Thiollier et de Mondésir ont traité de la moins-value des rails définitifs employés dans les voies provisoires, et par un procès-verbal d'expertise dressé par MM. Maniel et Flachat, dans le but de constater la moins-value des rails employés pour l'exécution des travaux dans la première section du chemin de fer d'Orléans à Bordeaux.

EXTRAIT

D'UN MÉMOIRE INSÉRÉ DANS LE 6e CAHIER DES ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES EN 1847, SUR LES TRANSPORTS DE TERRASSEMENT AU WAGGON SUR VOIES PROVISOIRES, PAR M. PIARRON DE MONDÉSIR, INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

(Pages 281 à 282.)

Quant à l'évaluation qu'il convient de faire de la moins-value du matériel, nous n'avons pas encore pu la calculer par l'observation de nos chantiers, parce que les entrepreneurs n'ont pas encore fait la remise du matériel qui leur a été livré par l'État. M. l'inspecteur Kermaingant, dans son rapport déjà cité, porte cette moins-value à 0f,59, et nous savons qu'au chemin de fer de Rouen, où les rails pèsent 35 kilogrammes par mètres courant, cette moins-value a été payée 0f,50 par mètre courant de rails.

Comme nous considérons ici quatre cas particuliers, que la moins-value doit croître avec l'importance des tranchées, et que d'ailleurs, comme on le verra plus loin, nous tenons compte à l'entrepreneur de la dépense nécessaire pour l'établissement d'évitements qui ne nécessitent ni coupure ni courbure de rails, nous adopterons les évaluations suivantes :

Pour les petites tranchées. . . .	0f,45	par mètre courant de rails.
Pour les tranchées moyennes. .	0 ,50	. . . . . *id.* . . . . .
Pour les grandes et très-grandes tranchées.	0 ,55	. . . . *id.* . . . . .

EXTRAIT

D'UN MÉMOIRE INSÉRÉ DANS LE 5e CAHIER DES ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES DE 1849, SUR LE TRANSPORT AU WAGGON DES DÉBLAIS D'UN CHEMIN DE FER EN EXPLOYANT LES MATÉRIAUX DES VOIES DÉFINITIVES, PAR M. THIOLLIER, INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

(Pages 226 à 229.)

§ 4. — *Fourniture et entretien des voies provisoires.*

Moins-value des voies provisoires. — Le matériel définitif mis à la

disposition des cinq ateliers que nous avons particulièrement cités se compose : 1° de 9,018 rails de 4m,50 de longueur normale du poids de 30 kilogrammes par mètre courant; 2° de 34,000 coussinets, tant de joints qu'intermédiaires, pesant chacun en moyenne 9k,50. Ces quantités représentent une longueur de voie simple de 20,285 mètres courants.

La valeur de ce matériel s'établit ainsi :

9,018 rails pesant.	1,217t43 à 365 fr. l'une	444,361 fr. 95
34,000 coussinets pesant. . . .	323 00 à 275	88,825	00
	Total.	533,186 fr. 95

Si l'on admet (ce qui est à peu de chose près exact pour une exploitation semblable à celle que nous décrivons) que le développement total des voies d'un atelier de terrassement soit représenté par 3,80 *d*, la longueur des voies qui ont été établies au moyen du matériel ci-dessus estimé représentera le développement de celles d'un atelier dont les terres devraient être transportées à la distance réduite de $\frac{20,285}{3,80} = 5,338$ mètres. Or, en rapportant à cette même distance, 5,338 mètres, le travail exécuté par les ateliers de terrassement et de ballastage sur les voies établies au moyen de ce matériel, nous avons trouvé un cube de 139,400 mètres, auquel il faut ajouter celui de matériaux divers employés à la construction de perrés et d'empierrements. La totalité des cubes transportés à cette distance s'élèverait donc à 150,000, chiffre qui correspond justement au travail qui serait exécuté dans l'espace d'une campagne sur un atelier de terrassement exploité à 600 mètres cubes par jour.

La Compagnie concessionnaire du chemin de fer de Paris à Lyon, ayant, au moment de son avénement, demandé la modification du modèle des rails et coussinets à employer pour la confection des voies définitives de la section de Dijon à Châlons, le matériel dont il vient d'être question a dû être réservé pour être employé par cette Compagnie sur d'autres travaux de terrassement, à part cependant la proportion nécessaire à la confection des voies de gare et d'évitement. Mais l'état de toutes les pièces qui le composent n'en a pas moins été vérifié en détail et avec le plus grand soin après l'usage qui en a été fait pour les transports des terrassements et du ballast; de plus, en mettant à l'état d'emploi la partie réservée pour les voies de gares, des expériences ont été faites en assez grand nombre pour apprécier le compte exact des dépenses qu'il eût fallu faire pour ramener au même état la totalité.

Voici ce qui a été constaté à ce sujet :

1° *Rails*. — Aucun rail n'a été perdu; 5 seulement ont été brisés, mais par suite de l'abus qui en a été fait par certains entrepreneurs qui ont négligé de mettre le nombre des traverses nécessaires pour les soutenir, ou qui s'en servaient en guise de leviers pour manœuvrer les estacades. L'usage a dénoté, sur un nombre de 405, des défauts de soudure entre

le fer corroyé formant l'une des faces et le corps du rail formé en fer puddlé brut; ces défauts sont ceux de fabrication, contre lesquels les fournisseurs, aux termes des conditions imposées ordinairement, doivent une garantie. On ne doit donc à ce sujet porter en compte que les frais de transport des ateliers au port le plus prochain pour ces rails, qui doivent être remplacés par le fournisseur lui-même.

1,072 rails ont subi, soit sur champ, soit sur plat, diverses courbures de $0^m,005$ à $0^m,015$ de flèche, déformations si faibles, que leur redressage peut être fait à froid, et le marché en a été passé à raison de 1 fr. pour chacun d'eux.

Quant aux autres rails, ils n'ont point paru altérés sous ce point de vue d'examen, ou, si les courbures insignifiantes qu'ils ont présentées après l'usage n'existaient point auparavant, leurs limites ont été tellement peu sensibles, que le serrement des coins dans le coussinet des voies suffit pour les amener à parfaite direction.

L'altération qui s'est fait remarquer de la manière la plus générale est celle des arêtes extrêmes, lesquelles, à la suite d'une pose quelquefois défectueuse, d'un entretien difficile, souvent oublié aux abords de la charge et de la décharge des terres, se sont trouvées en grande proportion abattues ou refoulées par l'effet du roulage. Pour ramener ces arêtes à l'état d'avivement du rail neuf, il faut reprendre le fer au burin et à la lime; cette main-d'œuvre, marchandée, a été exécutée avec toute la perfection désirable moyennant le prix de 0 fr. 65 par rail.

Quant à l'usure et à la déperdition du poids, suite de l'effet du roulage, elle a été déterminée par une série de pesées faites lors de l'achèvement des travaux et comparées avec celle des rails neufs relevés à l'usine: cette perte de poids peut être estimée assez approximativement à la proportion maximum de $0^k,75$ par rail de $4^m,50$ de longueur.

Ces pertes en moins-value s'estiment comme il suit :

	kil.		fr. c.	fr. c.
Cinq rails brisés.	5	à	30, 00—	150,00
Transport des rails auxquels l'usage a fait reconnaître des défauts de soudure, aller et retour, compris toute indemnité, s'il y avait lieu.	405	à	4, 00—	1,620,00
Redressage de rails courbés.	1,072	à	1, 00—	1,072,00
Perte de poids, suite de l'usure par le roulage, à raison de $0^k,75$ par rail.	6,763,50	à	0,365—	2,468,68
Rétablissement des arêtes refoulées à raison de 0 fr. 65 par rail en moyenne.	8,416,	à	0, 65—	5,470,40
Perte de poids, suite de cette opération, environ $0^k,12$ par rail.	1,009,92	à	0,365—	368,62
			Total.	11,149,70

Rapportée à la valeur primitive des rails employés, cette moins-value peut, en tenant compte de toutes les éventualités, être estimée à la proportion nette de 1/40.

EXTRAIT

DU PROCÈS-VERBAL CONSTATANT LA DÉPRÉCIATION SUBIE PAR LES RAILS ET COUSSINETS[1] PRÊTÉS A L'ÉTAT PAR LA COMPAGNIE.

Les soussignés :

Jacques Maniel, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé des travaux et de la surveillance du chemin de fer du Nord,

Et Eugène Flachat, ingénieur en chef du chemin de fer de Paris à Saint-Germain et à Versailles,

Désignés,

Le premier par M. le préfet d'Indre-et-Loire, par arrêté en date du 30 novembre 1850,

Le deuxième par la Compagnie concessionnaire du chemin de fer d'Orléans à Bordeaux,

Pour procéder, en qualité d'experts, à la fixation de l'indemnité à payer à la compagnie par l'État, en raison de l'usage qu'il a fait des rails et coussinets prêtés par la Compagnie pour l'exécution des terrassements du chemin de fer précité,

Se sont présentés le 19 décembre 1850 devant M. le préfet d'Indre-et-Loire et ont prêté serment entre ses mains de remplir avec impartialité la mission qui leur était confiée.

Les soussignés ont procédé le même jour à la visite des divers dépôts qui leur ont été présentés : d'une part, par MM. Morandière, ingénieur en chef, et Petit, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées; d'autre part, par M. Pepin-Lehalleur, ingénieur en chef de la compagnie concessionnaire. Dans ces dépôts se trouvaient, classés par ordre, les divers matériaux dont les ingénieurs de l'État ont déclaré faire la remise à la Compagnie.

Il est résulté de cet examen, comme aussi du comptage fait contradictoirement par les agents de ces deux services, que les approvisionnements remis à la Compagnie comprenaient :

1° Les rails dont le détail suit :

[1] On a mis seulement ici ce qui concerne les rails.

	MARQUES.	RAILS de 4m,80.	RAILS de 3m,60.	RAILS divers.
Rails en bon état.	A	332	132	»
Rails altérés par défaut de qualité ou excès de service, mais pouvant être employés après un dressage sur 1, 2 ou 3 côtés.	B	1,986	»	»
Rails de même espèce que les précédents, mais devant être rognés ou ajustés au bout.	B'	829	1	»
Rails ne nécessitant d'autres réparations qu'un redressage.	C'	4,681	387	»
Rails ne nécessitant qu'une recoupe ou un ajustage au bout.	C²	10	»	»
Rails nécessitant un ajustage et un redressage.	C³	1,514	64	»
Rails hors d'emploi par défaut de qualité ou excès de service.	D	243	—	
Bouts de rails.	»	»	»	277
Totaux.		9,595	584	277

Il a été constaté que les 277 bouts représentaient une longueur de. . . . . 437m,82.

Ce qui porte la longueur totale de tous les rails à. 48,596m,22

Les pièces qui nous ont été remises sous les yeux et qui n'ont pas été contestées par les parties, et notamment l'arrêté de M. le préfet d'Indre-et-Loire en date du 30 novembre 1850, établissent que la compagnie a prêté à l'État :

	RAILS de 4m,80.	RAILS de 4m,50.	RAILS de 3m,60.
1° Les rails dont le détail est ci-contre. .	9,561	11	699
	10,271		

Lesdits rails représentent une longueur de. 48,458m,70

Et pèsent. 1,616,360k,00

Ce qui porterait le poids du mètre courant à 33k,335, poids sensiblement égal au poids normal accusé par la Compagnie (33k,333).

Les experts soussignés, après avoir examiné séparément les différents éléments de l'estimation qu'ils avaient à faire, se sont réunis de nouveau pour les discuter contradictoirement, et ils ont arrêté d'accord les bases suivantes :

1° Pour les rails.

1° *Dressage*. L'état de dressage fourni par la Compagnie donne un total de. . . . . 6,489 fr. 05 c.
y compris, pour transport et fourniture d'outils. 929 75

Cette dernière somme comprend un transport de Dieppe à Tours, les réparations pour mise en état, et une partie doit rester à la charge de l'entrepreneur, qui aura évidemment à se servir de l'appareil pour son compte.

Le prix du dressage devant porter sur 44,874m,44, on peut fixer les prix par mètre à. . . . . 0 fr. 14 c.

2° *Recoupage*. Le recoupage d'un bout avec ajustage coûte, quand on est outillé, 0 fr. 875. Un fort ajustage seul coûte 0 fr. 266; or, sur 2,418 rails qu'on avait d'abord comptés comme devant être recoupés, 1,448 ont subi un simple ajustage dont le prix est compris dans la dépense, dressage rappelé ci-dessus. Il n'y a donc qu'à compter le prix de 0 fr. 875 par bout pour 970 rails; ou bien, si on ne veut pas changer les chiffres des procès-verbaux de reconnaissance appliqués pour la totalité des rails (2,418), le prix de 0 fr. 351.

3° *Réfection des rails*. En août 1849, la compagnie d'Orléans a fait avec l'usine de Fourchambault un traité qui fait ressortir les prix de réfection pour les rails pris et rendus à Orléans à 147 fr. la tonne. Les prix ont baissé depuis; mais, comme il y a un supplément de transport, il paraît juste de porter le prix de réfection par tonne à . . . . 150 fr.

4° *Moins-value des rails raccourcis*. On peut évaluer la moins-value des rails raccourcis à 8 fr. par rail ou 50 fr. par tonne.

Il n'y a en réalité que 970 rails à raccourcir. Si on veut appliquer le prix aux 2,418 qu'on supposait devoir être raccourcis, il faudra réduire le prix par tonne à. . . . . 21 fr. 20 c.

5° *Moins-value relative aux rails avariés sur les arêtes*. Les rails usés par le roulement des waggons sont presque tous usés sur un bord seulement; quelques-uns le sont seulement sur deux, le plus petit nombre sur trois. On peut admettre que l'usure existe en moyenne sur deux arêtes. Sur le chemin de fer d'Orléans à Bordeaux, la durée moyenne des rails peut être évaluée à. . . . . 40 ans.

On peut admettre que les rails dont il s'agit ne dureront donc que. . . . . 18 ans.

La réfection, poids pour poids, équivaudra à la fin de la première période par tonne à.. . . . . 140 fr. 00 c.
Et la seconde à.. . . . . 120 00

En calculant à 5 pour 100 la valeur d'aujourd'hui, qui représenterait ces valeurs dans 18 ans et 40 ans, on trouve 58 fr. 16 et 17 fr. 04, ce qui donne pour les rails avariés une moins-value à ce jour de 41 fr. 12.

Ces bases posées, les experts ont établi d'un commun accord, ainsi qu'il suit, les sommes que l'État aura à payer à la Compagnie comme compensation des différences qui existent entre les matériaux qu'il a reçus et ceux qu'il rend.

1° Rails.

1° *Balance des quantités*. La longueur totale des rails prêtés est de.. 48 458m,70
La longueur des rails rendus est de.................. 48 596m,22

Différence en faveur de l'État.............. 137m,52

Cette différence est insignifiante, et comme il ne paraît pas que l'État ait eu d'autres rails à sa disposition que ceux de la Compagnie, on doit en conclure seulement qu'il n'y a pas de défauts constatés dans la remise dont il s'agit.

2° *Rails en bon état*. Les rails de la marque A, tous en bon état, ne doivent pas donner lieu à indemnité.

3° *Rails de la marque* B'. Les rails de la marque B' doivent donner lieu à indemnité pour dressage et en raison aussi de la moins value sur les arêtes.

	mèt.	fr. c.	fr. c.
La longueur de ces rails est de 9532m,80, ce qui donne pour dressage (n° 1)......	9 532,80	0 14	1334 59
Le poids de ces mêmes rails est de 317 756k,82, ce qui donne pour la moins value (n° 5)........................	317 756,82	41 20	13 066 13
4° *Rails de la marque* B". Les rails de la marque B" doivent subir diverses opérations ; il y a 830 rails de 3982 mètres de longueur : 1° pour redressage, il est dû le prix (n° 1)........................	3982,80	0 14	557 59
2° Pour recouper les bouts en comptant en moyenne trois bouts pour deux rails, il est dû le prix (n° 2)..................	1 245,00	0 351	436 99
3° Les rails après recoupage ne pèseront que 129 060k,37, et ces rails sont affectés d'une dépréciation pour longueurs inégales représentées par le prix (n° 4)...........	129 060,37	21 20	2 736 08
4° Ces mêmes rails perdent la valeur (n° 5) pour avarie sur les arêtes.........	129 060,37	41 12	5306 96
5° Les bouts provenant de ces rails pèsent 3698k,30 et sont à refaire au prix n° 3.		150,00	554 75
A reporter.........			23 993 08

	mèt.	fr. c.	fr. c.
Report..................			23 993 08
5° *Rails de la marque* C'. Les rails de la marque C' sont simplement à redresser ; leur longueur est de 23 862 mètres, le prix à payer par mètre est de (n° 1)...........	23 862	0 14	3 340 68
6° *Rails de la marque* C². Les rails de la marque C² sont au nombre de 10 ; ils pèsent 1599k,98 et donneront lieu pour recoupe à 10 rails raccourcis pesant 1566k,65 à des bouts pesant 33k,33.			
1° Le prix n° 2 est dû pour recoupe (1 bout et 1/2 pour rail), ci............	15,00	0 351	5 26
2° Le prix n° 4 pour moins value de raccourcissement......................	1 566,65	21 20	33 21
3° Le prix n° 3 pour réflection des bouts.	33,33	150 00	5 00
7° *Rails de la marque* C³. Le nombre des rails C³ est de 1578 ; leur longueur 7497m,60. Les rails raccourcis pèseront 237 359k,29, et les bouts provenant du raccourcissement, 12 558k,21. Il est dû :			
1° Le prix n° 1 pour dressage.........	7 497,60	0 14	1 049 66
2° Le prix n° 2 pour recoupe (1 bout et 1/2 pour rail en moyenne)...........	2 367,00	0 351	830 82
3° Le prix n° 4 pour moins value de raccourcissement......................	237 359,29	21 21	5 032 02
4° Le prix n° 3 pour réflection des bouts.	12 558,21	150 00	1 883 73
8° *Rails de la marque* D. Les rails de la marque D sont à refaire entièrement au prix n° 3. Il y en a 243 qui pèsent 38 879k,61 ; Il est dû pour ces rails................	38 879,61	150 00	5 831 94
9° *Bouts de rails*. L'État fait remise à la Compagnie de 277 bouts de rails pesant 14 593k,85, pour lesquels il est dû le prix n° 3..................................	14 593,85	150 00	2 189 08
Montant total des sommes dues pour les rails......			44 194 51[1]

2° Coussinets.

....

Les experts soussignés, etc., etc.

[1] Le développement des rails prêtés étant de 48 458m,70, la moins value par mètre courant est de $\frac{44\,194\,51}{48\,458\,70} = 0{,}91$.

PRIX DE REVIENT

DES TRAVAUX DE CONSOLIDATION

EXTRAITS DE LA NOTE DE M. SAZILLY (ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES).

Il nous reste actuellement à traiter une question très-importante, celle de la dépense à laquelle donnent lieu les procédés de la consolidation.

Lorsqu'il s'agit de réparer un éboulement effectué, la dépense, toujours considérable, est très-variable avec la masse et la figure, toujours imparfaitement connue, de l'éboulement, avant l'enlèvement des terres mises en mouvement, et il est bien difficile de l'estimer *a priori* d'une manière suffisamment approchée.

Lorsqu'au contraire les procédés d'assainissement sont employés comme moyens préventifs, ainsi que cela devrait toujours avoir lieu, il devient facile d'estimer d'avance et d'une manière approchée la dépense qu'ils entraîneront; car alors la partie la plus importante de cette dépense consiste dans l'établissement d'une chemise d'épaisseur déterminée, faite avec des terres saines, dont la distance de transport sera connue, ou avec des moellons dont le prix sera également connu.

Pour les travaux de consolidation que nous avons eu à faire, nous avons presque toujours trouvé à proximité, dans la partie supérieure des talus, des terres de nature convenable pour faire la chemise dont il s'agit, et le prix superficiel de chemise de 0m,30 d'épaisseur réduite, presque toujours inférieur au chiffre du sous-détail qui suit, l'a bien rarement dépassé.

Fouille dans l'emplacement de la chemise, transport des terres en dépôt, dressement des surfaces des redans, 0m³,30 de terre glaise à 1 fr. 91	0 fr. 57 c.
Approvisionnement, reprise, régalage, pilonnage en trois couches de 0m³,30 de terre saine à 2 fr. 05 le mètre.	0 61
Règlement des talus et semis.	0 10
TOTAL.	1 fr. 28 c.

La dépense des pierrées est ordinairement beaucoup moindre que celle de la chemise; mais on comprend que cette dépense est très-variable avec la nature des talus. Elle sera très-minime si l'on a affaire à une masse glaiseuse nettement accusée et surmontée par un banc perméable; car alors il n'y aura qu'une pierrée longitudinale à faire dans la hauteur du talus; mais elle pourra acquérir une certaine importance si la masse argileuse présente des couches perméables étagées les unes au-dessus des autres.

Voici en tout cas comment s'établissait le prix moyen d'un mètre cou-

rant de pierrée dans nos travaux du chemin de fer de Strasbourg, et nous croyons que ce prix, qui ne pourra guère varier qu'en raison du prix de la brique, du caillou et des gazons, sera ordinairement plus que suffisant.

Fouille de la rigole et transport des terres en dépôt, $0^{m3},25$ de terre glaise à 1 fr. 01	0 fr.	48 c.
Plus-value pour dressement du fond et des parois de la rigole.	0	06
Fourniture de mortier et de briques et façon du radier.	1	20
Fourniture et emploi de $0^{m3},10$ de caillou à 6 fr. 20 le mètre.	0	62
Recouvrement du caillou en gazons, $0^{m2},35$ de gazons de $0^{m},10$ d'épaisseur à 1 fr. 60 le mètre superficiel.	0	56
Total.	2 fr.	92 c.

A la tranchée de Gagny, il entrait moyennement un mètre courant de pierrée dans une surface de talus de 6 mètres carrés. D'après cette base, qui sera rarement dépassée, on voit, par les sous-détails qui précèdent, que le prix de revient d'un mètre superficiel de talus consolidé préventivement ou avant tout mouvement pourrait, dans la tranchée dont il s'agit, être évaluée à 1 fr. 77[1].

L'énoncé de ce chiffre suffit pour donner une idée des économies considérables qu'on pourra réaliser en employant à temps ce qu'on pourrait appeler les petits moyens, de préférence aux perrés à grande épaisseur, murs de soutènement, contre-forts, etc., qui constituent les grands moyens, qu'il est toujours bien difficile d'employer avant que les terres aient commencé de se mettre en mouvement.

Les procédés d'assainissement perdront, il est vrai, beaucoup de leurs avantages si, ne les appliquant pas à mesure que la tranchée s'approfondit, on laisse aux glaises le temps de se désorganiser sous les influences atmosphériques et l'action des eaux intérieures; car alors ils exigeront toujours l'enlèvement de masses de terre plus ou moins considérable; la chemise devra s'étendre sur une surface notablement plus grande, en même temps qu'on sera forcé de lui donner plus d'épaisseur en certains points, pour régulariser la surface de l'élargissement qu'on laissera subsister dans la tranchée; enfin les pierrées elles-mêmes prendront plus de développement[2].

[1] Dans la tranchée de Bourg-la-Reine, sur le chemin d'Orsay, le mètre superficiel de talus assainis préventivement par M. Couche est revenu à 2 fr. 85 c., chiffre notablement supérieur au chiffre ci-dessus; l'élévation du prix de M. Couche tient surtout à ce que la glaise était coupée par de nombreux bancs de marne perméable, et à ce que, par suite, il fallait établir des pierrées longitudinales sur des points beaucoup plus rapprochés qu'à la tranchée de Gagny.

[2] Dans la tranchée de Bourg-la-Reine, déjà citée, les procédés d'assainissement n'ont été employés, après la production des éboulements, que sur deux points seulement; sur ces points, le prix de revient du mètre superficiel de talus assaini s'est élevé en réduite à 12 fr. 80 c., c'est-à-dire à un prix plus que quadruple du prix de revient des talus assainis préventivement.

Dans la tranchée de la Haute-Loge, sur le chemin de Calais, le mètre superficiel de talus assaini et consolidé par M. l'ingénieur Maniel, après la production des éboulements, est seulement

Il pourra même arriver, surtout si le sol présente une forte inclinaison transversale, que les masses, mises en mouvement, aient une étendue telle, qu'il soit plus économique de recourir aux grands moyens.

Cependant nous croyons que, même lorsqu'ils ne seront employés qu'après la production des éboulements et comme moyens répressifs, les procédés d'assainissement seront encore, dans la plupart des cas, beaucoup plus économiques que les murs de soutènement.

Lorsque nous avons été attaché au service du chemin de fer de Strasbourg, les talus de la tranchée de Gagny, dont la profondeur maximum est de près de 15 mètres, et dont la profondeur moyenne est de 9 mètres environ, présentaient de nombreux éboulements; quelques-uns de ces éboulements, bien que la tranchée fût loin d'être à profondeur, s'étendaient jusqu'à 10, 12 et 14 mètres en dehors du sommet du talus normal.

Ces talus devaient être consolidés au moyen de murs de soutènement en pierres sèches avec contre-forts, d'après un projet de notre prédécesseur, qui fut approuvé peu de temps après par l'administration; mais, sur nos instances, et pour activer le travail, M. l'ingénieur en chef voulut bien consentir à nous laisser employer concurremment nos procédés d'assainissement dans la partie où les eaux se montraient le plus abondantes; et, bien qu'ils aient été employés presque exclusivement comme moyens répressifs, bien que des fautes aient été faites dans l'exécution de ces travaux [1], ils ont néanmoins donné lieu à des économies fort importantes.

Nous ne pouvons malheureusement pas aujourd'hui séparer d'une manière certaine et complète la dépense afférente aux talus qui ont été soutenus par les murs, de la dépense qui concerne les talus simplement assainis, parce qu'à la suite de quelques mouvements éprouvés dès le principe par les murs, nous avons fait pratiquer derrière ces murs des assainissements et des remaniements de terre qui ont été faits par voie de régie, et que ces travaux se confondent sur les états d'attachement avec ceux qui se rapportent aux talus simplement assainis.

Il en résulte que si l'on attribue toute la dépense des assainissements et remaniements de terre aux talus non soutenus par des murs, on exagérera la dépense de ces talus, et qu'on estimera au contraire trop bas la dépense des talus soutenus par des murs.

Cette manière d'opérer, très-défavorable aux procédés d'assainissement, est la seule dont nous puissions faire usage aujourd'hui pour donner une idée affaiblie de l'économie que nous avons réalisée.

Les murs de soutènement occupent, dans la tranchée de Gagny, une lon-

revenu à 4 fr. 07 c.; mais il convient de remarquer que la profondeur moyenne de cette tranchée n'est guère que de 4 mètres, et il nous paraît très-probable que le prix de revient des talus assainis préventivement serait resté au-dessous du chiffre de 1 fr. 77 c.

[1] Les deux fautes qui ont été faites sont indiquées, l'une dans la note du n° 37, l'autre au n° 46; ces fautes, qu'il a fallu réparer depuis la mise en exploitation du chemin, n'ont pas coûté moins de 15,397 fr. 91 c.

gueur de 1,090m,20, et ont coûté, y compris fouilles, maçonneries, étayements et épuisements, mais non compris assainissements, remaniements de terre, etc. . . . . 244,665 fr. 44 c.

Les procédés d'assainissement ont été employés sur une longueur de 910m,13, et coûtent, y compris assainissements et remaniements de terre derrière les murs ci-dessus. 90,969 39

Total. . . . . . 335,632 fr. 83 c.

Il résulte de là que le prix du mètre courant de talus consolidé par des murs est au moins de. . . . . 224 fr. 42 c.

Et que le prix réduit du mètre courant de talus consolidé par les procédés d'assainissement est au plus de. . . . . . 99 95 c.

Chiffre moindre que la moitié du précédent, et qui accuse par mètre courant en faveur des procédés d'assainissement une économie au moins égale à [1]. 124 47

On peut conclure de là que si l'on avait exécuté des murs de soutènement sur toute la longueur qu'il a fallu consolider, ainsi que le comportait le projet, on aurait eu une augmentation de dépense au moins égale à 910,13 + 124,47 = 11 = 365 fr. 29 c., et ce chiffre doit être considéré comme bien inférieur à l'économie qu'on a réellement obtenue en adoptant les procédés d'assainissement sur une partie de la tranchée.

En fait, nous devons le dire, l'exécution des travaux de consolidation de la tranchée n'a présenté, sur les prévisions du projet, qu'une économie de 58,179 fr. 38 c.

Mais cela tient à ce qu'en dehors des parties assainies ou soutenues par des murs, il a fallu faire des revêtements qui n'avaient pas été prévus pour maintenir des talus sablonneux qui se ravinaient profondément, et aussi à ce que l'on a été obligé, en cours d'exécution, de modifier le profil des murs, et véritablement l'économie due à l'emploi des procédés d'assainissement est supérieure à 113,657 fr. 29 c.

Si les procédés d'assainissement avaient été employés à mesure de l'approfondissement de la tranchée dans toute la partie qui a été consolidée, et si aucune faute n'avait été faite [2], la surface qu'il aurait fallu assainir pouvant être évaluée à 22,000 mètres carrés environ, on voit que la dépense ne se serait élevée qu'à 22,000,00 × 1,77 = 38,940 fr., et qu'on au-

[1] Il est peut-être bon de faire observer que, dans ces évaluations, nous ne tenons pas compte du revêtement du fossé et de la murette du ballast, qui sont presque toujours indispensables dans toute tranchée profonde.

[2] Il est en effet très-probable que les fautes signalées n'auraient pas été commises, si les travaux d'assainissement avaient été faits à mesure de l'approfondissement de la tranchée; car la partie du talus mélangée et aquifère qui a échappé à des travaux faits assez longtemps après sa mise au jour, n'aurait guère pu échapper aussi facilement à des travaux appliqués, dès le principe, d'une manière rationnelle; et quant à la pierrée établie sur un remblai, dans la partie où un éboulement descendait au-dessous du fond de la tranchée, c'est une faute grossière, qui n'aurait évidemment pu avoir lieu si les talus avaient été consolidés préventivement.

rait ainsi réalisé une économie de 296,692 fr. 83 c. sur la dépense de 335,632 fr. 85 c. qui a été consacrée à établir des murs et à assainir après la production des éboulements.

Au chemin de fer du Centre, où nous avons eu à consolider des talus sur un très-grand développement entre Orléans et le souterrain de Vierzon, et où la maçonnerie de moellon à pierres sèches, dans les tranchées les plus importantes, revenait presque à un prix triple du prix payé à la tranchée de Gagny[1]; au chemin de fer du Centre, disons-nous, où nous avons pu employer les procédés d'assainissement comme moyens préventifs sur la moitié au moins de l'étendue des parties consolidées, nous croyons être bien modéré en disant que les petits moyens ont permis de faire une économie de deux millions au moins.

[1] A la tranchée de Gagny, le prix du mètre cube de maçonnerie de moellon à pierre sèche était de 11 fr. 19.

DÉPENSES

FAITES POUR L'ASSÈCHEMENT DES TALUS DANS DEUX TRANCHÉES GLAISEUSES DU CHEMIN DE WISSEMBOURG.

Tranchée de la Schautz.

Longueur de la tranchée	1,000m »
Hauteur *maxima*	8m 93
Surface des talus consolidés, comprenant les deux côtés de la tranchée	18,000m »
Longueur des fossés perreyés	2,000m »
	fr. c.
Main-d'œuvre applicable à l'exécution des caniveaux, au fascinage et au revêtement des talus en terre végétale	20,038 54
Fourniture de fascines pour le maintien des éboulements	396 99
Fourniture de briques pour les caniveaux	2,298 99
Id. de gravier *id.*	4,550 99
Id. de mortier *id.*	1,420 78
Outils figurant à l'inventaire	282 24
Fournitures diverses : semences, gazon, planches, lattes, menus ustensiles n'ayant plus de valeur	1,745 40
Perreyage des fossés sur 2000 mètres de longueur :	
Fournitures de moellons et façon	13,052 89
Total	43,786 82

Il résulte de la dépense les prix d'unité suivants :

Consolidation du mètre superficiel de talus, non compris les fossés	1 fr. 71 c.
Consolidation du mètre superficiel de talus, compris les fossés	2 43

Prix du mètre courant de tranchée :

Pour les talus	30 fr. 73 c.
Pour les fossés	13 05
Ensemble	43 78

Toutes ces consolidations ont été faites préventivement, c'est-à-dire avant qu'aucun éboulement ne se soit produit.

Tranchée de Soultz.

Longueur de la tranchée	500m »
Hauteur *maxima*	5m 35
Surface du talus consolidé, ne comprenant qu'on seul côté de la tranchée	3,500m² »

PREMIÈRE PARTIE.

Tranchée d'assainissement en amont.

	fr.	c.	fr.	c.
Main-d'œuvre de toute espèce	6,357	12		
Bois et planches pour étresillons	1,027	»		
Moellons pour les rigoles	1,202	22		
Divers et transports	326	30		
Total			8,912	64

Consolidation de la surface du talus et perreyage des fossés.

	fr.	c.	fr.	c.
Main-d'œuvre de toute espèce	10,884	04		
Enlèvement des éboulements, transport des terres	2,470	32		
Fourniture de briques pour caniveaux	834	05		
Id. de gravier *id.*	695	38		
Id. de mortier *id.*	422	54		
Id. de moellons pour perrés de fossés	996	74		
Outils figurant à l'inventaire	351	65		
Diverses fournitures : semis, planches, lattes, clous, etc., etc.	757	22		
Total			17,411	94
Total général			26,324	58

Il résulte de ces dépenses les prix d'unité suivants :

		fr.	c.
Consolidation d'un mètre superficiel de talus	Tranchée d'assainissement	2	54
	Consolidation de talus	4	97
	Total	7	51
Consolidation d'un mètre courant de tranchée	Tranchée d'assainissement	178	25
	Consolidation de talus	348	23
	Total	526	48

Les consolidations ont eu lieu après que les éboulements se furent produits. Cette circonstance augmente considérablement le prix de revient, par suite : 1° de l'enlèvement des terres éboulées; 2° par l'augmentation des surfaces à consolider, qui sont beaucoup plus considérables que les surfaces de talus de la tranchée, suivant son profil normal.

Outre la tranchée faite en amont, parallèlement à la direction du chemin, il a fallu consolider la surface même du talus, suivant la méthode Sazilly. Nous n'avons pas signalé la nécessité de cette seconde opération dans le corps de l'ouvrage, parce que, lorsque nous l'avons rédigé, elle ne s'était pas fait sentir. De là, la division de la dépense en tranchée d'assainissement et consolidation des talus.

PRIX DE REVIENT

DES TRAVAUX DE DRAINAGE DES TRANCHÉES

EXTRAITS D'UN RAPPORT DE M. DAIGREMONT, INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, SUR LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT EXÉCUTÉS SOUS SA DIRECTION AU CHEMIN DE FER DE L'EST[1].

EXEMPLES ET CAS PARTICULIERS.

Tranchée de Petit-Croix. — La tranchée n° 1 n'a que $0^m,75$ de hauteur maximum, et une longueur de 200 mètres; mais elle est tourbeuse, et, avant l'assainissement, on a dû y enfouir 1,500 à 1,800 fascines pour y établir la voie nécessaire au transport des terres. On a, pour l'assainir, creusé un drain à $1^m,60$ en contre-bas de la plate-forme, à travers la tourbe et l'argile plastique; cette argile a été soulevée par la pression des eaux, avant qu'on eût atteint le gravier aquifère sur lequel elle repose; aussi a-t-on été obligé de faire une partie des déblais avec des seaux, et de blinder très-fortement. Le travail exécuté a déjà fait beaucoup de bien, et les drains posés donnent une grande quantité d'eau; cependant, comme la couche aquifère est très-irrégulière, il faudra la couper de nouveau par d'autres drains, pour obtenir un assèchement complet; mais le travail à faire sera rendu plus facile par celui qui est exécuté aujourd'hui. Voici l'estimation des dépenses :

DÉPENSES FAITES.

Acquisition et transport à pied d'œuvre des tuyaux..	95 fr.	00 c.
Acquisition et transport à pied d'œuvre des matières filtrantes.	125	»
Creusement de 260 mètres courants de fouilles, épuisements, pose des tuyaux et des matières filtrantes, façon et pilonnage des remblais.	1,675	»
Transport, pose et dépose des bois de blindage.. . .	123	»
Surveillance et faux frais.	48	»
	2,066 fr.	00 c.

Prix du mètre courant de drain exécuté, à $1^m,60$ de profondeur, dans des circonstances très-difficiles, 7 fr. 94 c.

[1] Voir ce rapport complet et les figures dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*.

DÉPENSES A FAIRE.

260 mètres courants de drains à 5 francs.	1,300 fr. 00 c.
Rappel des dépenses faites.	2,066 00
Total.	3,366 fr. 00 c.

La longueur totale assainie est de 250 mètres, ce qui met le prix du mètre courant de plate-forme asséchée à 13 fr. 46 c.

Tranchée n° 2. — Le sol de la tranchée n° 2 se compose d'une argile jaune et blanche complétement imperméable, reposant sur une couche aquifère composée de sable et de gravier : en approchant de cette couche, dont la sous-pression est d'ailleurs peu considérable, la glaise s'est détrempée sous les pieds des chevaux, et toute la plate-forme s'est trouvée réduite en bouillie, où l'on enfonçait jusqu'au genou; en quelques points même, on aurait eu de la vase jusqu'à la ceinture; les talus ne s'éboulaient point, en raison de la nature imperméable du sol.

L'Entreprise a dû abandonner le chantier, et l'on a attaqué l'assainissement de deux côtés à la fois, 1° par un drainage longitudinal de 1m,60 de profondeur moyenne; 2° par un drainage transversal de 125 mètres de longueur et de 5m,70 de profondeur maximum : la direction transversale de ce travail a été motivée par la situation de la tranchée à flanc de coteau, et l'on s'est avancé vers le piquet 14a, parce que c'était en ce point que les eaux surgissaient avec le plus d'abondance. Le succès de l'opération a été tel, que, trois jours après l'achèvement du drain transversal, la plate-forme s'est trouvée parfaitement sèche et praticable aux chevaux.

En septembre, c'est-à-dire pendant la saison où les sources donnent le moins, on a mesuré, à la sortie du drain, un débit de 160 litres par minute, soit de 230m3 par jour : au printemps, on peut compter sur un débit double ou triple.

Il ne reste plus, pour compléter l'assainissement de cette tranchée, qu'à prolonger le drainage de la plate-forme du piquet 14 au piquet 18a, travail qui n'offrira pas de difficulté, parce que la plate-forme est déjà bien asséchée. Nous ferons remarquer que, dans cette tranchée, nous n'avons pas projeté de drain à droite de la plate-forme; cette exception tient à la nature graveleuse du fond de la tranchée, qui fait office de filtre.

Les talus de la tranchée n° 1 étant taillés dans un terrain imperméable, il n'y a pas lieu de les assainir; cependant, comme on a dû établir un fossé de ceinture très-près de la crête du talus gauche, on placera sous ce fossé un drain de petit diamètre, placé au plus à 1 mètre du sol, pour éviter les dangers résultant de la stagnation des eaux dans le fossé. Ce petit drain supérieur sera relié de distance en distance avec le drain de la plate-forme.

Voici l'indication des dépenses faites et à faire dans la tranchée n° 2 :

DÉPENSES FAITES.

1° *Drain longitudinal, du piquet* 11 *au piquet* 14.

Fourniture des tuyaux	105 fr.
Fourniture des matières filtrantes	260
Creusement de 320 mètres courants de fouille, pose des tuyaux, etc.	1,632
Fourniture, pose et dépose des bois de blindage	235
Surveillance et faux frais	190
TOTAL	2,420 fr.

Prix du mètre courant, à 1m,60 de profondeur, dans des circonstances difficiles, 7 fr. 55 c.

2° *Drainage transversal.*

Fourniture de tuyaux de 175 mètres	680 fr.
— de matières filtrantes	457
Creusement de 125 mètres courants de fouille, etc.	2,488
Fourniture, pose et dépose des bois de blindage	435
Surveillance et faux frais	280
TOTAL	4,320 fr.

Prix du mètre courant, à 5m,70 de profondeur maximum, 34 fr. 50 c.

Montant total des travaux faits	6,740 fr.

DÉPENSES A FAIRE.

500 mètres de drains le long de la plate-forme, à 4 fr. 50 c.	2,250	
700 mètres courants de drain supérieur à 1 fr.	700	
Drains transversaux, etc.	300	
8,000m² de revêtements, à 0 fr. 10 c	800	
Total des dépenses à faire		4,050
TOTAL GÉNÉRAL		10,790 fr.

Il en résultera, par mètre courant de tranchée, une dépense de $\frac{10\,790}{700}$, soit 15 fr. 40 c. pour une profondeur maximum de 5m,00.

Tranchée du cimetière de Dannemarie. — La tranchée n° 14 nous a donné beaucoup de soucis : l'Entreprise a commencé à l'ouvrir vers la fin de 1855 ; la tranchée était mauvaise, mais nous ne soupçonnions pas l'existence d'une couche de sable aquifère située sous la plate-forme, et dont la présence s'est révélée tout à coup, au mois de décembre, par un soulèvement général des voies, soulèvement qui a atteint 1m,50, et par des éboulements qui se sont propagés rapidement jusqu'à 15 mètres du cimetière de Dannemarie.

Nous avons aussitôt mis, en janvier 1856, soixante ouvriers à l'assainissement de la tranchée, et nous avons réussi à établir un premier drain, que nous avons rempli de moellons; nous n'avions pas encore, à cette époque, de tuyaux de drainage. Les mouvements se sont arrêtés; mais le travail n'avait pas été poussé à une assez grande profondenr, à cause de la difficulté de maintenir les terres délayées par la neige fondante. Aussi avons-nous remarqué de nouveaux mouvements après les pluies de juin 1856. On a repris le travail, approfondi la partie déjà établie, remanié et drainé les éboulements, et descendu de nouveaux drains parallèles au chemin de fer, au milieu de la couche aquifère; la poussée était tellement forte, quand on a creusé la fouille du drain inférieur longeant la plate-forme, que les étrésillons du blindage laissaient une empreinte très-sensible sur les montants contre lesquels ils s'appuyaient. Aujourd'hui tous les mouvements se sont arrêtés, sauf près du piquet 130, sur une longueur de 25 mètres, où l'Entreprise ne nous a pas encore laissé commencer l'assainissement inférieur; du reste, les mouvements qni ont encore lieu en un seul point, et qui n'ont plus lieu ailleurs, prouvent l'efficacité des travaux déjà exécutés.

Il existe dans la tranchée n° 14 une particularité : c'est que, en face du piquet 129, on a établi un drainage supérieur des deux côtés du chemin de fer; on a été conduit à cette disposition, parce qu'on a rencontré dans cette portion de tranchée une inflexion des couches du sous-sol, et que les eaux peuvent arriver par filtration sur les deux talus à la fois.

Il faut ajouter que le lehm et la couche argileuse bleue qui forment le terrain de la tranchée sont doués d'une certaine perméabilité.

Les drains de la tranchée n° 14 débitent très-peu d'eau; cependant, depuis qu'ils fonctionnent, les fosses creusées dans le cimetière restent toujours à sec, tandis qu'auparavant elles étaient en quelqnes heures envahies par les eaux, qui remontaient de la conche de sable *aquifère*.

On a dépensé, à la tranchée n° 14, pour établir 894 mètres courants de drains, une somme de 5,688 fr., ce qui met le prix du mètre courant à 6 fr. 30 c. On avait déjà dépensé, en janvier 1856, pour le premier travail, qui a dû être repris, environ 3,500 fr., ce qui porte la dépense totale à 9,188 fr.

Voici l'évaluation de la dépense qui reste à faire :

30 mètres de drains à 6 fr. 50 c.	195 fr.
320 mètres de drains à 3 fr. 50 c.	1,120
Revêtement de 4,500 mètres carrés de talus.	450
Total.	1,765
Rappel de la dépense déjà faite.	9,188
Total général.	10,953 fr.

La tranchée ayant 300 mètres de longueur, cela porte le prix du mètre courant à 36 fr. 50 c. pour une profondeur maximum de 5m,60, ou bien

cela met le prix du mètre carré de talus assaini à 2 fr. 43 c.; mais cette dernière manière de compter n'est pas très-satisfaisante, puisqu'il a fallu, dans l'espèce, faire des travaux d'assainissement aussi coûteux pour la plateforme que pour les talus; il serait donc assez naturel d'ajouter la superficie de la plate-forme à celle des talus, et de dire que la surface assainie est de 4,500 + (300 × 11) = 7,800 mètres carrés; cette nouvelle façon de calculer porterait le prix du mètre carré assaini à 1 fr. 40 c.

Remblai n° 15. — Le remblai n° 15 a éprouvé quelques mouvements au printemps de 1856, un peu au delà du piquet 140 : un examen attentif a démontré que le sous-sol avait cédé sous le poids du remblai, et qu'il était traversé par plusieurs sources; on les a coupées au moyen d'un drainage, qui a toujours donné une grande quantité d'eau, même pendant la saison sèche. Mais le tassement du sous-sol n'était pas le seul accident qui se fût produit : le remblai lui-même avait coulé, et cela venait de ce qu'il était formé de couches minces de glaise plastique alternant, suivant l'inclinaison, avec des couches de sable micacé, formant banc de glissement : on comprend que cet effet se produit nécessairement toutes les fois qu'une tranchée fournit des veines alternatives de terres de natures différentes, et qu'on fait avec ces terres un remblai au waggon. On a remédié au mal en ouvrant, pendant un temps sec, une série de coupures dans le remblai; on a successivement approfondi ces coupures jusqu'à 2 mètres, et, quand leur paroi s'est trouvée bien sèche, on les a remplies avec les terres qu'on en avait extraites, et qui avaient eu elles-mêmes le temps de se sécher; après avoir rempli et pilonné ces premières coupures, distantes de 4 mètres l'une de l'autre, on en a fait de nouvelles dans les intervalles, sans recourir en aucune façon aux tuyaux de drainage et aux matières filtrantes : depuis que ces travaux ont été faits, le remblai n'a plus éprouvé de mouvements.

Aujourd'hui l'Entreprise fait au waggon un remblai avec les terres venant de la tranchée du Dockenberg, et dans lesquelles on rencontre alternativement de la glaise humide et du sable micacé rempli d'eau; le remblai a commencé à couler; mais, dès qu'on s'en est aperçu, on a eu soin de mettre à la décharge deux ouvriers qui mêlent ces matières ensemble, de façon à couper tous les bancs de glissement; on espère obtenir de la sorte un remblai qui s'affermira rapidement.

Nous ajouterons toutefois que ces procédés économiques ne nous paraissent pas applicables aux remblais entièrement composés de glaise humide; il faut alors recourir aux coupures remplies de moellons ou autres matières filtrantes, et le mieux est encore d'éviter de faire de pareils remblais.

Tranchée n° 15. — La tranchée n° 15 offre l'application pure et simple des principes généraux qui ont été développés au commencement de cette note; aussi n'insisterons-nous pas sur les travaux de cette tranchée. Voici l'estimation des dépenses faites et à faire pour l'assainir :

DÉPENSES FAITES.

Fourniture de tuyaux	119 fr.
— de matières filtrantes	52
Main-d'œuvre de terrassements, etc., sur une longueur de 333 mètres	999
Frais de blindage	19
Surveillance et faux frais	32
TOTAL	1,221 fr.

Cela met le prix moyen du mètre courant de drain, dans des circonstances favorables, à 3 fr. 65 c., pour une profondeur variable de 1m,50 à 4 mètres.

DÉPENSES A FAIRE.

1,000 mètres courants de drains de 1m,20 à 1m,50 de profondeur, à 2 fr. le mètre courant	2,000 fr.
200 mètres courants de drains de 1m,50 à 4 mètres de profondeur, à 3 fr. 65 c. le mètre courant	730
Revêtement de 8,400 mètres carrés de talus	840
TOTAL DES DÉPENSES A FAIRE	3,570
Rappel des dépenses faites	1,221
TOTAL GÉNÉRAL DES DÉPENSES FAITES ET A FAIRE	4,791 fr.

La tranchée ayant 460 mètres de longueur, cela porte le prix d'assainissement d'un mètre courant à 10 fr. 40 c., et le prix du mètre carré de talus à 0 fr. 57 c., la profondeur maximum de la tranchée étant d'ailleurs de 10m,80.

Tranchée n° 16. — La tranchée n° 16 se compose dans toute sa hauteur, dont le maximum est de 5m,20, de terrains très-perméables, saturés d'eau, traversés par des sources, et s'éboulant avec la plus grande facilité; on remarquera que, du piquet 155 au piquet 156, on a établi une ligne de drains au milieu de la plate-forme, au lieu d'en placer une sous chaque fossé; c'est que ce drain central a été placé avant que la tranchée ne fût à largeur, et pour arrêter le plus tôt possible les éboulements qui cessaient de se produire; cette portion de tranchée se trouve, du reste, bien asséchée aujourd'hui.

Mais il n'en est pas de même de la partie comprise entre les piquets 156 et 158; les remblais du drain supérieur ont été peu ou point pilonnés, de sorte que le tuyau s'est obstrué, et il s'est formé, aux premières pluies, un éboulement marqué; aujourd'hui il y a dans la tranchée 1m,50 à 2 mètres de boue liquide; on a commencé une tranchée de drainage très-profonde à quelques mètres de l'axe de la voie, sur le chemin de Fülleren à Ballersdorff, mais on ne sait pas encore exactement comment on dirigera les tra-

vaux; cela dépendra de l'effet qu'ils produiront à mesure qu'on les poussera en avant; en tout cas, ce sera un travail terminé en une quinzaine de jours. On a dépensé à cette tranchée une somme de. . . . 2,000 fr.

Les nouveaux travaux coûteront au plus. 4,000

Total. . . . . 6,000 fr.

Cela fera 18 fr. par mètre courant de tranchée, ou 1 fr. 35 c. par mètre carré de talus assaini.

Tranchée du Dockenberg. — La tranchée du Dockenberg a 1,600 mètres de longueur, 20 mètres de profondeur maximum, et cube 250,000 mètres; elle traverse un col un peu obliquement; de l'origine de la tranchée au piquet 11, le terrain offre généralement un profil concave; du piquet 11 au piquet 16, les eaux pluviales viennent seulement du côté gauche; mais à droite se trouve le ruisseau dit Bacchlé, dont les hautes eaux, entre les piquets 14 et 15, sont à un niveau supérieur à celui de la plate-forme; aussi doit-on établir des bourrelets en remblai pilonné de chaque côté de la tranchée.

Si on pénètre en dessous de la surface du terrain, on trouve que les couches du sous-sol sont inclinées de droite à gauche entre les piquets 0 et 7; au delà, l'inclinaison devient inverse.

Du piquet 0 au piquet 7, il est inutile d'assainir le talus gauche de la tranchée; on n'a jamais remarqué sur ce talus aucune filtration ni aucune trace d'éboulement. L'assainissement du talus droit, opéré suivant la règle générale, est complet jusqu'au piquet 2 : le travail a été difficile, et les drains donnent une quantité d'eau considérable; mais le résultat est satisfaisant. Du piquet 2 au piquet 7, l'assainissement n'est pas encore complet, la tranchée n'étant pas à profondeur; on craint qu'il ne soit très-difficile entre les piquets 2 et 3, parce qu'on commence à trouver, sous le sable et le grès mollasse donnant passage à des filtrations abondantes, une couche de marne verdâtre entièrement détrempée; on ne s'est encore arrêté à aucune disposition pour l'assainissement de cette portion de tranchée.

Entre les piquets 3 et 4, il s'est manifesté, au moment où l'Entreprise terminait le talus, un éboulement assez important qu'on a drainé à ciel ouvert, au moyen de coupures parallèles entre elles et perpendiculaires à la direction du chemin de fer. Puis on s'est empressé, pour empêcher la propagation de cet éboulement, d'ouvrir des galeries de mine; deux de ces galeries auront des branches en retour; on se propose en outre de réunir ces galeries au drainage supérieur par des trous de sonde.

Le système des galeries de mine me paraît réussir, et on a l'intention de l'appliquer jusqu'au piquet 6; au delà de ce point et jusqu'au piquet 10, on n'a pas encore de projet arrêté; on rencontrera sans doute un très-mauvais terrain au fond de la tranchée, dans le voisinage du passage supérieur n° 1, dont les fondations ont été difficiles à cause des sources qui surgissaient dans les fouilles.

Entre le piquet 11 et l'extrémité aval de la tranchée, on s'est trouvé dans des circonstances très-difficiles; le sous-sol se compose de terrain de transport reposant sur une couche de sable micacé aquifère, qui coule avec une grande facilité; on a dû non pas déblayer, mais épuiser une grande partie des tranchées de drainage ouvertes dans ce sol; il a fallu multiplier les blindages et les abandonner fréquemment dans les fouilles, arrêter les éboulements du sable avec des saucissons remplis de gravier, et, en quelques points, établir les tuyaux de drainage sur pilotis, pour les empêcher de disparaître dans la vase.

Il a été nécessaire de maintenir par un drainage les deux talus; à gauche, à cause de la pente du sol et de l'inclinaison des couches; à droite, à cause des eaux de filtration du ruisseau du Baechlé; encore s'est-on trompé une première fois en assainissant le talus gauche, et a-t-on été obligé de recommencer un deuxième travail, parce qu'on n'était pas descendu assez bas, et que les éboulements du talus continuaient. Du reste, le premier drainage exécuté servira à recueillir les filtrations du fossé supérieur, qui recevra pendant les orages de grandes quantités d'eau.

Quant au drainage de la plate-forme, il a été impossible de le descendre à plus de 1^m,50, et il existe entre les piquets 11 et 13 un bourbier qu'on craint de ne pas assécher avec ce premier travail d'assainissement; cependant le double drainage pratiqué sous les deux fossés de la plate-forme raffermira un peu le terrain, et l'on pourra entreprendre l'établissement d'un drain central, qui débouchera entre les piquets 16 et 17, et sera placé à 2^m,50 en contre-bas de la plate-forme; on s'est assuré par des sondages que cette profondeur serait suffisante, circonstance heureuse, car il serait impossible de l'augmenter, à moins de chercher un débouché à une très-grande distance.

Le drain central sera formé de deux tuyaux de 0^m,175 de diamètre, et pourra débiter, en raison de la pente de 0^m,005 par mètre, environ 32 litres par seconde, soit 2,700 mètres cubes par jour; mais les eaux sont tellement abondantes, qu'on craint de faire un travail insuffisant et par conséquent inutile, si l'on ne compte pas sur un pareil débit; les quatre tranchées de drainage existant aujourd'hui dans cette partie du Dockenberg donnent déjà plusieurs centaines de mètres cubes d'eau par jour, et cependant elles ne pénètrent pas en plein dans la couche aquifère.

Les tranchées de drainage faites jusqu'à présent au Dockenberg ont coûté de 5 à 10 fr. par mètre courant. La dépense faite jusqu'à ce jour s'élève à la somme de 26,000 fr.

La dépense totale atteindra 60,000 à 70,000 fr., en y comprenant le revêtement de 40,000 mètres carrés de talus : le chiffre de 70,000 fr. correspond à une dépense de 1 fr. 75 c. ou de 1 fr. 25 c. par mètre carré de surface assainie, suivant que l'on compte seulement la superficie des talus ou que l'on y ajoute celle de la plate-forme.

PRIX DE REVIENT

DE TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT DE TRANCHÉES

ASSÉCHÉES PAR LE PROCÉDÉ SAZILLY SUR LE CHEMIN DE FER DE MULHOUSE.
(EXTRAIT D'UN MÉMOIRE DE M. MASSON, INGÉNIEUR [1].)

Pour établir les prix de revient des différents travaux d'assainissement exécutés dans notre section sur le chemin de Mulhouse, nous choisirons les tranchées les plus importantes de la traversée de la Haute-Marne entre Chalindrey et Laferté, lesquelles se trouvent ouvertes, partie dans les marnes du lias et partie dans les marnes irisées.

Les chiffres que nous prendrons ici pour base représentent à peine un tiers des travaux exécutés; mais nous avons préféré rester dans ces limites, afin d'écarter toute erreur en n'opérant que sur des dépenses parfaitement distinctes et toutes spéciales à l'objet qui nous occupe.

PRIX ÉLÉMENTAIRE DES JOURNÉES ET MATÉRIAUX EMPLOYÉS AUX TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT QUI S'EXÉCUTENT EN RÉGIE DANS DIVERSES TRANCHÉES DE LA HAUTE-MARNE.

Journée de 10 heures d'un terrassier de 1re classe.	4 fr.	00
Idem. 2e classe ou manœuvre.	3	25
Journée de 10 heures d'un maçon.	4	20
Mètre cube de pierre cassée d'une grosseur variant de 0,06 à 0,12, fourni par l'Entreprise et rendu.	7	05
Le même provenant des déblais et cassé en régie, fourni par l'Entreprise et rendu.	3	50
Mètre cube de mortier hydraulique.	17	26
Tuiles creuses ordinaires du pays rendues sur les chantiers, le mille.	40	00
Tuyaux de drainage de 0,05 de diamètre, provenant des fabriques de Langres à 30 kilom. de distance réduite.	33	00
Manchons de 0,09 de diamètre id.	33	00

PRIX D'UN MÈTRE COURANT DE DRAINAGE AVEC TUILES CREUSES SUR MORTIER HYDRAULIQUE.

1° *Avec pierre cassée appartenant à la Compagnie.*

(NOTA. Tous les travaux d'assainissement exécutés jusqu'à ce jour se trouvent dans ce cas.)

[1] Voir le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur.*

DÉPENSES POUR 1,400 MÈTRES DE CANIVEAUX.

MAIN-D'ŒUVRE ET FOURNITURES.	QUANTITÉS.	PRIX DE L'UNITÉ.	DÉPENSES.
Journées de terrassier de 1re classe. *Taluteur*[1]	Journées. 104 6	fr. 4 00	fr. 418 40
Journées de terrassier de 2e classe.	224 3	3 25	728 98
Id. maçons	89 1	5 20	374 22
Fourniture de tuiles creuses	1.101 4	40 °/.	404 16
Mortier hydraulique	15 40	17 26	265 80
Pierre provenant des déblais et cassage	218 04	3 50	763 14
TOTAL.			2,714 70

Cette dépense, qui s'applique à une longueur de 1,400 mètres de caniveaux et à une superficie de 6,564 mètres sup. de talus assainis, mais non revêtus, fait sortir le prix de revient des premiers à 1 fr. 93 le mètre courant et celui des seconds à 0,41 le mètre superficiel.

Le rapport qui existe ici entre le développement des caniveaux et la

[1] Les ouvriers qu'on applique aux drainages se forment très-rapidement à ce genre de travail. Il suffit de quelques explications claires sur l'objet de l'opération, et d'indications très-précises sur la marche générale à suivre, pour faire bientôt d'un terrassier intelligent un excellent assainisseur.

Chaque brigade se compose de deux terrassiers et d'un maçon, et exécute, par journée de 10 heures, une longueur moyenne en nombre rond de 10 mètres courants de caniveaux, tout compris : fouille, radier, recouvrement en pierraille, remblai, pilonnage et règlement.

Cette donnée résulte non-seulement du tableau des dépenses tel que nous le présentons, mais encore d'observations nombreuses faites en cours d'exécution. Il suit de là que le prix moyen des journées employées à ce travail étant de 3 fr. 64, et chaque journée d'homme représentant 3m,33 de caniveaux exécutés, on a, pour la dépense en main-d'œuvre d'un mètre courant, 1 fr. 09, laquelle se vérifie par les chiffres du tableau : $\frac{1.528 \text{ fr. } 60}{1.400}$ = 1 fr. 09 c.

Mais, comme il importe, pour créer le sous-détail du prix de revient, de distinguer la dépense en terrassements de celle en maçonneries, on y arrivera en observant :

Que le maçon étant servi par le terrassier de 2e classe pour l'approche des matériaux à pied d'œuvre, il y a lieu de décomposer le temps du second en en reportant une partie au compte des maçonneries. Or, comme il est reconnu qu'il consacre à ce service 5 heures, quand le maçon en fait 10, on obtiendra ainsi le montant total de la dépense faite pour la construction des radiers et de leur revêtement en pierrailles :

Jours 44,5 de terrassier ou manœuvre, à 3 fr. 25 c.	144 fr. 63 c.
Jours 89 1 de maçon, à 4 fr. 20 c.	374 22
TOTAL.	518 fr. 85 c.

Laquelle somme, répartie sur les 1,400 mètres de caniveaux exécutés, donne pour le prix de la main-d'œuvre de maçonnerie, par mètre courant, 0 fr. 37 c.

Quant aux 0.72 (1,09 — 0 37) restant pour les terrassements, il sera de même facile de les décomposer, sachant d'ailleurs que, dans les conditions ordinaires, un terrassier peut ouvrir et régler une longueur de 20 mètres de rigoles d'une section moyenne de 0m,44, quand il en

surface de talus assainis serait donc, quant à présent, de 1 à 4,70; mais il faut remarquer d'une part qu'aucune des tranchées sur lesquelles nous avons opéré n'étant encore à fond, et, de l'autre, que les assainissements effectués s'appliquant aux parties les plus mauvaises, cette proportion changera nécessairement après l'entier achèvement des travaux, c'est-à-dire que la situation peut devenir alors sensiblement meilleure.

2° *Avec pierre cassée fournie par l'Entreprise.*

Dans l'hypothèse de la fourniture des pierres cassées, le prix du mètre courant de caniveaux s'obtiendrait par la simple substitution de l'élément 7,05 à celui 3,50 porté au tableau général des dépenses. La dépense totale devenant alors 3,478 fr. 74, le prix du mètre courant serait de 2,48, et celui du mètre superficiel de 6,53 [1].

Si l'on compare le prix de 2f,48 à celui de 2,92 qui a été atteint dans les travaux du même genre sur la ligne de Strasbourg, on trouve une différence de 0,44 en faveur du premier, bien que le cube et le prix de la pierre cassée soient chez nous beaucoup plus forts et que la section de déblais de nos rigoles soit presque double de celles de la tranchée de Gagny. Nous avons expliqué ailleurs les raisons qui nous avaient conseillé

remblayera 25, toute déduction faite de la place occupée par les matériaux en œuvre. On aura donc, en suivant cette proportion, 0f,39 pour fouille et jet de 0^{m3},44 de déblai. Ci. . . 0 fr. 39 c.

Et pour remblai de 0^{m3},27, toute déduction faite (0,72 — 0,39). . . . . 0 fr. 33 c.

Nota. — Les terres fouillées peuvent être déposées sur les bords de la rigole, puis reprises à longueur de bras pour le remblai en terre mélangée. L'excédant de cube se rejette dans la tranchée, où les waggons la prennent. Quant à la terre végétale, on la trouve sur la crête même des tranchées, où il est toujours prudent d'en faire un dépôt, tant en vue du revêtement des talus glaisaux que du rechargement des talus de remblai.

Nous pouvons donc maintenant dresser, au moyen des bases précédemment fixées, le sous-détail du prix d'un mètre courant de caniveaux en tuile creuse, avec recouvrement en pierre à la Compagnie.

Fouille et jet de 0^{m3},44 de terre, compris règlement du fond de la rigole, à 0 fr. 89 c. le mètre cube. . . . . 0 fr. 39 c.

Fourniture de 3 tuiles à 40 fr. le mille. 0 12

— de 0^{m},011 de mortier, à 17 fr. 26. La quantité de mortier par mètre courant est donnée par le tableau ($\frac{13 \text{ m. } 40}{1.400}$). 0 19

Extraction et cassage de 0,15 de pierre à 3 fr. 50 c. 0 53

(Dans les cas ordinaires, le cube en œuvre ne dépasse pas 0^{m},10, et reste souvent au-dessous; mais, quand un caniveau doit assainir deux bancs, ce qui se présente très-fréquemment dans nos travaux, le cube de pierre augmente sensiblement, à cause de la plus grande extension à donner au revêtement des parois mouillées.)

Construction du radier et arrangement de la pierre, compris l'approche des matériaux. 0 37

Reprises et remblais de toute nature, pilonnage et dressement du talus, 0^{m3},27 de terre remaniée à 1 fr. 22 c. 0 33

TOTAL PAREIL. . . . . 1 fr. 93 c.

Nous pensons qu'on peut sûrement prendre les éléments de ce sous-détail pour évaluer la dépense de consolidation d'un talus par la voie préventive.

[1] Le sous-détail sera le même que le précédent, en ayant égard à la différence du prix de la pierre cassée.

la substitution de la tuile à la brique et la suppression des gazons; or on voit que si ces raisons étaient bonnes au point de vue de la construction, elles ne le sont pas moins au point de vue de l'économie.

La comparaison que nous venons de faire entre nos prix de revient et ceux de M. l'ingénieur Sazilly nous dispenserait de nous arrêter sur ceux du mètre superficiel de talus assainis, si le chiffre auquel nous arrivons et qui dépasse le sien de 0,04 ne semblait pas constituer une anomalie. Quelques mots suffiront pour exprimer ce résultat. Dans la tranchée de Gagny, le rapport du développement des caniveaux à la surface des talus assainis est de 1 à 6, quand dans nos travaux de la ligne de Mulhouse ce rapport est, ainsi que nous l'avons dit, de 1 à 4,70. Il n'est donc pas surprenant que, tout en ayant un prix d'unité courante inférieur nous arrivions à un prix d'unité de surface supérieur, puisque ce dernier est tout à fait subordonné à l'importance des travaux qu'on exécute dans un espace déterminé. Dans le cas où l'éventualité favorable que nous avons admise nous conduirait à la même proportion qu'à Gagny, notre prix par mètre superficiel de talus deviendrait $\left(\frac{2 \text{ fr. } 48}{6}\right) = 0$ fr. 41, quand il est là de 0 fr. 49.

PRIX D'UN MÈTRE COURANT DE DRAINAGE AVEC TUILES CREUSES ET CORROI DE GLAISE.

Dans certains cas nous avons, à défaut de mortier, posé les tuiles sur corroi de glaise; mais nous devons dire que ce moyen n'a jamais été pour nous une question d'économie, la difficulté d'avoir le mortier en temps voulu et l'urgence de l'exécution nous l'ayant seules dicté, notamment pour la tranchée de Montesson, qui se trouve éloignée de tout chantier de maçonnerie et d'un accès très-difficile aux voitures.

Le choix de la glaise, sa préparation et son emploi pour former la couche des tuiles et le remplissage des joints, occasionnent un supplément de main-d'œuvre de pose qui équivaut certainement à la valeur du mortier en place; aussi ne croyons-nous pas qu'il y ait lieu de dresser pour cela un prix spécial, estimant que, sans crainte d'erreur, on peut reprendre intégralement les prix que nous avons donnés plus haut pour les tuiles creuses avec emploi de mortier. Soit 1,93 sans fourniture de pierre cassée, et 2,48 avec fourniture.

PRIX D'UN MÈTRE COURANT DE DRAINAGE AVEC TUYAUX DE 0,05 ET MANCHONS DE 0,09.

1° *Avec pierre cassée appartenant à la Compagnie.*

Il résulte des attachements pris sur le travail normal d'une brigade composée de trois hommes (2 terrassiers et 1 maçon) qu'elle peut livrer par journée de 10 heures une longueur de rigole drainée de 13 mètres, compris fouille, approche et pose des tuyaux, recouvrement en pierre cassée, remblai, pilonnage et règlement. Ce travail s'opérant avec un soin

particulier sur des talus ordinairement inclinés à 45° est à peu près moitié de celui qui se ferait en plaine pour des drainages ordinaires.

Le prix de revient du mètre linéaire, tiré des carnets de dépense pour une longueur de 550 mètres, exécuté ainsi dans les tranchées de Chaudenay et de Hortes, est de 1 fr. 59 et peut être analysé comme il suit :

Fouille et jet de 0m³,35 de terre en rigole, compris toute sujétion de règlement du fond à 1 fr. 09.	0 fr. 38
Fourniture de 3 drains de 0,05 de diamètre à 53 fr. le mille rendu.	0 16
Fourniture de 3 manchons à 33 fr. id.	0 10
Extraction et cassage de 0m127 de pierre à 3 fr. 50 c.	0 44
Main-d'œuvre de pose de drains et de leur recouvrement.	0 20
Reprise de terre, remblai, pilonnage et règlement du talus, 0m,30 courant à 1 fr. 05.	0 31
Prix du mètre courant.	1 fr. 59

Nota. La situation actuelle de ces travaux ne permet pas encore d'établir la relation des longueurs de drains avec les surfaces de talus assainis. Il en est de même du chemisage en terre végétale, qui, commencé tout récemment sur plusieurs points, n'a pas encore fourni assez de notes pour être évalué d'une façon rigoureuse.

2° *Avec pierre cassée fournie par l'Entreprise.*

Il suffit, dans le sous-détail qui précède, de substituer le prix de la pierre, 7 fr. 05 à celui de 3,50 qui y est appliqué, pour obtenir le prix de revient d'un mètre courant de drainage avec fourniture de tous matériaux par l'Entreprise.

Le sous-détail ainsi modifié devient, pour le cas dont il s'agit, 2 fr. 05.

PRIX DE RÉPARATION D'ÉBOULEMENTS.

Nous ne prétendons pas, par cette désignation de *prix de réparation d'éboulements*, laisser croire qu'il soit possible de poser pour l'évaluation de ces sortes de travaux des bases fixes et certaines, car les éboulements en général ont lieu de façons si diverses et proviennent souvent de causes si différentes entre elles, qu'on ne saurait en assujettir la réparation à une règle commune.

Mais il est un cas d'éboulement dont nous dirons quelques mots, parce qu'il est assez ordinaire dans les tranchées déjà talutées, mais non assainies, et se reproduit même quelquefois dans des talus drainés, soit par suite d'un mauvais raccordement de rigoles, soit encore par suite de l'obstruction des chutes. Ce cas est celui où un talus glisse sur lui-même, entraînant un cube de terre plus ou moins considérable.

Il est rare que ces sortes d'éboulements, quand ils s'opèrent sur des

points assainis, s'étendent tout d'abord beaucoup en arrière de la crête des talus; mais, pour peu que la réparation se fasse attendre, le mal s'aggrave et les travaux à exécuter peuvent devenir alors fort importants, si le mouvement surtout a commencé pendant un temps de pluie.

La réparation d'un éboulement quelconque de talus, aussitôt qu'il s'est produit où que le mouvement semble arrêté, est donc à nos yeux une mesure indispensable, si l'on veut éviter de plus grandes avaries; mais il peut arriver que la réparation en grand ne soit pas possible sur l'heure, soit par le manque de bras si le cube à remanier est considérable, soit à raison de l'état de liquéfaction dans lequel se trouvent les terres, soit enfin à cause de la mauvaise saison. Dans ce cas, on doit prendre immédiatement un parti, celui d'aller droit au mal en recherchant le banc de glissement et y construisant une pierrée définitive pour arrêter la continuation des suintements à travers les terres déjà détrempées.

Cette rigole, s'exécutant dans le terrain vierge immédiatement en arrière de la masse éboulée, qu'elle isole en la contournant d'une extrémité à l'autre, doit être faite très-rapidement; la construction du radier doit suivre la fouille. Les pentes doivent en être fortement accusées et l'on ne doit pas craindre surtout d'augmenter les pierres du recouvrement dans une notable proportion, de façon à former une sorte d'enrochement solide au-dessus de la section d'écoulement.

L'établissement de ces pierrées permet aux terres éboulées de s'assainir, et font ordinairement disparaître toute inquiétude sur les suites de l'accident. Nous y avons pour notre compte recouru dans des circonstances graves où toute hésitation pouvait être dangereuse, et nous n'avons qu'eu lieu d'applaudir au résultat.

Nous allons maintenant faire connaître la dépense qu'a occasionnée la réparation de deux éboulements de nos tranchées, comme ayant lieu dans la condition dont nous avons parlé, c'est-à-dire par glissement de talus presque réglé, mais non encore assaini.

1° *Tranchée de Beaulieu.*

Cube de l'éboulement. (Terres enlevées et remplacées par un cube égal pilonné.)	227^{m3}00
Longueur. Id.	29 00
Hauteur verticale	3 00
Surface restaurée (talus à 45°)	125 50
Épaisseur moyenne de la tranchée éboulée	1 84
M/l^{res} de caniveaux en tuiles creuses établis	28 00
Id. drains de 0,05	46 00
Cube de pierre pour recouvrement par mètre courant de drainage (pierre à la Cie, valeur 3 fr. 50)	0 20

La restauration du talus, exécutée d'après ces bases, a coûté 946 fr. 50,

soit par mètre superficiel . . . . 7 fr. 66 c.

Et par mètre courant de drainage 12 79

Nota. Ces prix n'auraient assurément pas été atteints, si la réparation avait été faite par un temps favorable; mais, en présence des menaces du coteau qui est fortement incliné et composé de très-mauvaises couches, on a dû la faire de suite, quand même et complétement, pour échapper à de plus sérieux accidents.

2° *Tranchée de Chifflard.*

Cube de l'éboulement	466^{m3} 15
Longueur	25 00
Hauteur verticale	5 40
Surface restaurée (talus à 1 pour 1 1/2)	225 50
Épaisseur moyenne de la tranché éboulée	2 07
M/l^{res} de caniveaux en tuiles établis	92 00
Cube de pierres à la Cie pour recouvrement par mètre courant	0 20

Le talus [1], restauré dans ces conditions, a coûté 1,416 fr. 19 c., soit par mètre superficiel . . . . 6 fr. 28 c.

Et par mètre courant de caniveaux 15 39

Nota. Nous avons, par nécessité, appliqué à l'éboulement de Chifflard le mode d'assainissement immédiat en contournant la masse éboulée : la réparation complète n'a eu lieu qu'après l'assèchement des terres et par un temps favorable; de là le prix plus faible auquel nous arrivons, bien que le remaniement fût là plus considérable, et la tranchée plus profonde qu'à Beaulieu.

Les deux exemples que nous avons choisis, et qui représentent à peu près les cas que l'on est le plus susceptible de rencontrer dans l'exécution des tranchées, permettraient donc de faire une sorte de moyenne pour évaluer approximativement la dépense qu'occasionnerait la restauration de talus éboulés, non-seulement ici, mais sur d'autres lignes, à cause de la parité presque générale des salaires et du chiffre minime de la dépense en matériaux qui concourt à la dépense totale.

Cette moyenne serait, par mètre superficiel de talus restauré, tous les matériaux étant fournis par l'Entreprise, de . . . . 7 fr. 11

Et par mètre courant d'assainissement 14 94

Mais, quelque faibles que soient encore ces chiffres relativement à ceux obtenus ailleurs, ils n'en démontrent pas moins combien il est important de se préoccuper d'avance de la question des assainissements, puisqu'en opérant par la voie préventive on n'échappe pas seulement aux difficultés quelquefois très-grandes de la répression, mais encore aux dépenses énormes que cette répression, quelle qu'elle soit, nécessite.

[1] Si la pierre avait été fournie par l'Entreprise, les prix de revient seraient à Beaulieu de 8 fr. 09 c. et 13 fr. 50 c., et, à Chifflard, 6 fr. 58 c. et 16 fr. 10 c.

ÉLÉMENTS

NÉCESSAIRES A LA DÉTERMINATION DU PRIX DE REVIENT DES TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT ET DE CONSOLIDATION DES TALUS [1]. (EXTRAITS D'UN MÉMOIRE DE M. BRUÈRE, CHEF DE SECTION AUX CHEMINS DE L'EST, SUR LES ASSAINISSEMENTS DES TALUS DE TRANCHÉES ET DE REMBLAIS, PUBLIÉ DANS LE NOUVEAU PORTEFEUILLE DE L'INGÉNIEUR.)

TRANCHÉES

CANIVEAUX.

1° — *Matériaux.*

Briques. — La quantité de briques nécessaires à la construction d'un mètre courant de caniveau est déterminée par la longueur de celles dont on fait usage. Il en faut douze par mètre, de celles que j'ai dit être préférables pour l'assainissement des talus argileux (0,25 × 0,08 × 0,05). La valeur de ces briques peut être de 30 francs le mille, rendues au chantier. Le prix des briques pour 1 mètre courant de caniveau sera donc de :

$$\frac{30 \times 12}{1,000} = 0 \text{ fr. } 36 \text{c. } (a).$$

Mortier. — Il faut en moyenne 0m,011 de mortier hydraulique pour la maçonnerie d'un mètre courant de caniveau. En supposant que le mètre cube coûte 15 francs, l'on trouvera que pour 1 mètre courant de caniveau la dépense pour le mortier est de 0,011 × 15,00 = 0 fr. 16 (*b*).

Pierre cassée. — Le cube de la pierre cassée qui entre dans la construction des caniveaux est, d'après les calculs que j'ai faits récemment, de 0m,038 par mètre de longueur. En supposant que le mètre cube de pierre cassée coûte 6 francs, transport compris, la dépense pour 1 mètre de caniveau sera 0,038 × 6 fr. = 0 fr. 23 (*c*).

Gazon. — La surface du gazon nécessaire au recouvrement de la pierre cassée est d'environ 0m,50 par mètre courant. En supposant que le mètre carré de gazonnement à plat coûte 0 fr. 60, le prix du recouvrement en gazon de 1 mètre courant de caniveau sera donc 0,50 × 0 fr. 60 = 0 fr. 30 (*d*).

J'ai choisi pour faire les évaluations précédentes les cas les plus défavorables. Ainsi je suppose que le mille de petites briques coûte 30 francs :

[1] Voir, dans le *Portefeuille*, le Mémoire complet avec les planches qui l'accompagnent.

sur aucun des points de la ligne de Wissembourg le prix n'a dépassé 25 francs le mille; — le prix du mortier, tel qu'il doit être pour la maçonnerie des caniveaux, n'atteint que très-rarement le chiffre que j'ai donné; — la moyenne du prix du mètre cube de pierre cassée s'élève rarement à 6 francs : la dépense est bien plus faible encore quand on emploie des scories ou même des cailloux roulés. Je suppose enfin que le prix du mètre carré de gazonnement est de 0 fr. 60; dans cette somme est naturellement comprise l'indemnité due au propriétaire du terrain. Mais il arrive presque toujours qu'il est possible d'en extraire des parcelles de terrain comprises dans la zone d'acquisition, et alors le prix ne se compose plus que du transport et d'une main-d'œuvre bien facile. Si maintenant on remplace le gazon par des plaques de glaise, le prix du recouvrement en question deviendra presque nul.

En réunissant les différents prix trouvés précédemment, on verra que la dépense pour matériaux nécessaires à la construction d'un mètre courant de caniveau est ainsi composée :

Briques	(*a*)	0 fr. 56
Mortier	(*b*)	0 16
Pierres cassées	(*c*)	0 23
Gazon	(*d*)	0 30
Total		1 fr. 05

2° — *Main-d'œuvre.*

Fouille. — Il est reconnu qu'un ouvrier peut faire la fouille de 50 mètres courants de caniveaux en douze heures, compris le règlement. Le prix moyen d'un terrassier étant de 3 francs la journée de dix heures, on aura pour 1 mètre courant de fouille de caniveaux :

$$\frac{12 \times 3 \text{ fr. } 00 \text{ c.}}{10 \times 50} = 0 \text{ fr. } 72 \text{ c. } (e).$$

Maçonnerie. — Un maçon peut, dans des circonstances ordinaires, construire 50 mètres courants de caniveaux en douze heures, et il faut un manœuvre pour deux maçons. Le prix de la journée d'un maçon étant de 4 francs pour dix heures de travail et de 3 francs pour celle d'un manœuvre, le mètre courant de maçonnerie de caniveau doit revenir à :

$$\left[\frac{\left(\frac{24 \text{ h.} \times 4 \text{ fr. } 00 \text{ c.}}{10 \text{ h.}}\right) + \left(\frac{12 \text{ h.} \times 3 \text{ fr. } 00 \text{ c.}}{10 \text{ h.}}\right)}{100 \text{ mètres.}}\right] = 0 \text{ fr. } 13 \text{ c. } (f).$$

Le transport de matériaux tels que briques, mortier, gravier, gazon, se

fait assez avantageusement au moyen de hottes. L'ouvrier peut circuler plus facilement sur les banquettes des caniveaux, et il y a beaucoup moins de dégâts à craindre que lorsque les transports se font à la brouette.

Les hottes que j'ai fait faire à Vendeuvres cubent en moyenne $0^{m},020$; elles sont en osier et doublées en tôle à l'intérieur.

Transport. — 1° Pierre cassée. De la manière indiquée ci-dessus, un ouvrier peut transporter 3 mètres cubes de pierre cassée en dix heures. Ce qui porte à 79 mètres la longueur des caniveaux, qui peuvent être remplis en dix heures par la quantité transportée par un ouvrier.

En supposant qu'il faille un chargeur pour deux porteurs, 2×79 mètres ou 158 mètres courants de caniveaux seront remplis en dix heures par trois ouvriers. A 3 francs la journée de dix heures, ces 158 mètres coûteront 3×3 fr. = 9 fr. 00 de transport et 1 mètre courant :

$$\frac{9 \text{ fr. } 00 \text{ c.}}{158} = 0 \text{ fr. } 057 \; (g).$$

Je ne parlerai pas du transport du gazon, le prix en étant compris dans les 0 fr. 60 comptés plus haut.

Réunissant donc les prix ci-dessus de la main-d'œuvre, on aura pour le prix d'un mètre courant de caniveaux :

Fouille.	(c)	0 fr. 072
Maçonnerie.	(f)	0 13
Transport de pierre cassée.	(g)	0 057
Total.		0 fr. 259

Joignant à cette somme le prix du *transport des terres provenant du déblai des caniveaux*, $0^{m},10 \times 1$ fr. 00 = 0 fr. 10 et le prix des matériaux, on verra qu'un mètre courant doit revenir, dans des circonstances ordinaires, à

1 fr. 05 + 0 fr. 26 + 0 fr. 10 = 1 fr. 41.

REVÊTEMENTS.

Un chantier bien organisé pour le pilonnage des terres servant au recouvrement des talus doit être composé dans la proportion suivante :

2 chargeurs,
2 rouleurs,
4 lanceurs,
1 régaleur,
4 pilonneurs,
1 régleur,
1 chef d'atelier.

J'ai reconnu que le travail de ces quinze ouvriers peut produire 75 mètres carrés de revêtement de 0^{m},30 d'épaisseur en une journée de dix heures. Si on suppose que les terrassiers soient payés à raison de 0 fr. 30 l'heure et le chef de chantier 0 fr. 50, la dépense de main-d'œuvre pour 75 mètres carrés de pilonnage sera donc de 47 fr., et pour 1 mètre carré de 0 fr. 626 (*a*).

Le recouvrement des talus en trois couches, comme l'indique M. Sazilly, est abandonné depuis fort longtemps; voici comment il faisait :

Supposons un talus à consolider; une première couche de terre remplissait les redans; après le battage de cette première couche le talus droit était rétabli et les redans devenaient par conséquent inutiles. On répandait ensuite deux autres couches *a*, *b*, que l'on pilonnait ou plutôt que l'on battait séparément. De cette manière on formait dans le recouvrement lui-même des surfaces lisses qui facilitaient le passage des eaux de pluie ou des dégels. Des revêtements semblables avaient très-peu de solidité : on les a remplacés par des revêtements pilonnés par couches horizontales de 0^{m},15 à 0^{m},20 d'épaisseur.

J'ai dit ailleurs la manière de pilonner les terres des recouvrements; j'ai dit aussi le nombre d'ouvriers nécessaires à la bonne organisation d'un chantier de pilonnage. Il ne me reste plus qu'à indiquer la manière dont je dispose un atelier.

Il est avantageux de n'entreprendre les travaux de recouvrement que sur une longueur totale de 30 mètres divisés en trois entre-profils de 10 mètres.

Les ouvriers sont ainsi placés dans chacune des parties de la travée de 30 mètres : dans l'une travaillent les quatre pilonneurs; dans une autre, un régaleur et les quatre lanceurs; et enfin, dans la troisième, le régleur : les rouleurs doivent décharger les terres dans l'entre-profil où travaillent les lanceurs et le régaleur.

De cette manière, le travail se fait beaucoup plus régulièrement; l'ouvrier ne perd pas de temps, et il a bien vite compris le travail dont il est chargé.

J'ai l'espoir qu'on ne trouvera pas mal que je parle de l'organisation d'un atelier : il est bien reconnu que de la bonne organisation d'un chantier il résulte souvent des économies considérables et un travail mieux fait.

J'ai supposé tout à l'heure que les terres du recouvrement étaient prises dans les cavaliers de dépôt provenant du retroussis de terre végétale qui se fait généralement en commençant le déblai des tranchées. Mais, quand par avance on reconnaît la nécessité d'assainir les talus d'une tranchée, il est très-avantageux de réserver au-dessus des talus une quantité de terre végétale suffisante au recouvrement et que l'on n'enlève que lorsqu'on en a besoin. C'est ainsi que l'on a pu avoir à proximité des terres

toujours bien fraîches. On avait pris les dispositions nécessaires pendant le déblai pour qu'il restât au-dessus de la banquette, au niveau de la partie supérieure des glaises, un volume de terre végétale et sable argileux correspondant à celui nécessaire au recouvrement de la partie argileuse du talus.

Dans de semblables circonstances, il suffit alors de deux piocheurs, deux lanceurs, un régaleur, quatre pilonneurs et un régleur; ajoutons-y un chef d'atelier, nous aurons, en évaluant le prix de la journée comme ci-dessus, une dépense de 35 francs au lieu de 47 francs, ce qui ne porte plus le mètre carré de pilonnage qu'à 0 fr. 466. On voit donc qu'en agissant comme je viens de le dire on fait une économie réelle de 0 fr. 16 par mètre carré de pilonnage.

BANQUETTES.

Les banquettes ont en général 1 mètre de largeur; donc, d'après le prix admis précédemment pour le gazonnement à plat, le mètre courant de gazonnement de banquette coûte 0 fr. 60.

Les banquettes étant à 4 mètres de distance verticale les unes des autres, cette dépense 0 fr. 60 se répartit entre les $7^m,21$ de distance suivant l'hypothénuse; d'où les banquettes coûtent :

$$\frac{0,60}{7,21} = 0 \text{ fr. } 083\ (b) \text{ par mètre carré de talus.}$$

CUVETTES.

Les cuvettes en maçonnerie construites à la jonction inférieure de deux pentes opposées de banquettes doivent se trouver, d'après ce qui a été dit déjà, à 60 mètres environ de distance les unes des autres. Or elles doivent avoir 1 mètre de largeur sur $0^m,30$ d'épaisseur; ce qui fait qu'elles cubent $0^m,30$ par mètre courant. Donc, en supposant qu'un mètre cube de maçonnerie coûte 15 fr., on aura 4 fr. 50 pour prix d'un mètre courant de cuvettes, laquelle somme, répartie entre 60 mètres carrés, donne :

$$\frac{4,50}{60} = 0 \text{ fr. } 075\ (c) \text{ par mètre carré de talus.}$$

SEMIS.

Le mètre carré de semis en graine de luzerne et de foin est payé assez souvent à raison de 0 fr. 03 (*d*) : cette somme me paraît bien suffisante.

Le mètre carré de recouvrement revient donc, tout compris :

Pilonnage.	(a)	0 fr. 626
Gazonnement de banquettes. .	(b)	0 083
Cuvettes en maçonnerie. . .	(c)	0 075
Semis.	(d)	0 030
Total. . . .		0 fr. 814

Le cube du déblai enlevé pour faire place au pilonnage est de 0m,30 par mètre carré de talus. Le prix de ce déblai étant fait à raison de 1 fr. le mètre cube, le prix précédent devient :

0 fr. 814 + 0 fr. 30 = 1 fr. 11.

Je dois faire remarquer encore ici que j'ai supposé qu'il était nécessaire de transporter les terres à 30 mètres; que le prix du gazon comprenait l'indemnité au propriétaire du terrain où il a été extrait. Le prix 1 fr. 11 se réduirait à 0 fr. 80, en supposant qu'il soit possible de faire l'économie de 0 fr. 16 expliquée plus haut et que le gazon soit extrait dans des terrains compris dans la zone d'acquisition pour la construction des chemins de fer.

Les prix que j'indique diffèrent sensiblement de ceux trouvés par M. Sazilly. Ainsi il évalue à 2 fr. 92 le mètre courant de caniveau; j'ai fait voir déjà que, même dans des circonstances défavorables, il ne doit coûter que 1 fr. 41. Cette différence tient aux dimensions des briques, qui exigent une fouille d'autant moins considérable qu'elles sont de moindres dimensions; cela dépend surtout de la disposition de ses caniveaux, qui exigeaient une fouille plus considérable, plus difficile et une plus grande quantité de pierres cassées.

La différence du prix des revêtements n'est que de 0 fr. 16, comparant les prix que je donne à celui de M. de Sazilly; mais il est bon d'observer qu'outre cette économie de 0 fr. 16 par mètre carré, j'ai fait entrer dans le prix 1 fr. 11 la dépense nécessaire à la construction des cuvettes en maçonnerie et au gazonnement des banquettes

Quant au prix de revient du mètre carré de talus, tout compris, assainissement et revêtement, il n'est guère possible de le déterminer exactement à l'avance. Il varie d'après la quantité des bancs de suintement. M. Sazilly cite la tranchée de Gagny, où l'on n'a construit qu'un mètre courant de caniveau pour 6 mètres carrés de talus. Mais toutes les tranchées n'ont pas aussi peu de bancs de suintement. Je citerai aujourd'hui la tranchée de la Vinoterie, où l'on est obligé d'établir presque 1 mètre courant de caniveau par mètre carré de talus. On conçoit la différence qui doit résulter dans la dépense nécessaire aux travaux d'assainissement des talus de ces deux tranchées. Il est juste de dire que la quantité relative de caniveaux à la tranchée de la Vinoterie sera rarement aussi forte.

REMBLAIS

La dépense nécessaire à la consolidation d'un remblai argileux ne peut guère s'évaluer d'avance avec une certaine approximation. Elle varie avec la hauteur des remblais, leur disposition, la nature des terres, la distance du transport et le prix des pierres ou des cailloux.

Je vais reprendre la supposition que j'avais faite de consolider les talus du remblai des Couveaux. Le cube des contre-forts est d'environ 8,200 mètres. Or, en supposant que la dépense pour fouille, transport et pilonnage des terres, soit de 1 fr. par mètre cube, le prix des contre-forts sera 8,200 francs.

Le cube des empierrements serait à peu près de 750 mètres. Le prix étant supposé de 10 francs le mètre cube, la dépense nécessaire à l'établissement de ces empierrements serait donc de 7,500 francs.

Les travaux de consolidation de ce remblai coûteraient donc 15,700 fr.

Quoique cette somme soit assez peu importante, on ferait exécuter les mêmes travaux à un prix moindre et dans de meilleures conditions en remplaçant l'empierrement par un fascinage.

Les fascines ayant $0^m,25$ d'épaisseur, le cube de la pierre cassée, ou des cailloux, ou des scories, sera au plus de 627 mètres. En faisant les fascines avec les dimensions suivantes : $0^m,70$ de longueur, $0^m,25$ de diamètre, on devra en employer 20,200.

La fourniture du bois (bouleau ou genêt), la façon et la pose des fascines, peuvent être évaluées à 0 fr. 15 pièce, ce qui fait pour les 20,200 fascines une dépense de 3,030 francs.

Les pierres cassées étant payées à raison de 7 francs le mètre cube, la dépense totale sera de 4,389 francs.

En remplaçant les empierrements par les fascines en pierres cassées, l'économie ne sera pas appréciable : elle sera peut-être nulle. Le seul avantage qu'on en retirera, ce sera la solidité du travail. Mais, si l'on employait du gravier ou des scories au lieu de pierres cassées, elle pourrait être de 2 ou 3,000 francs; elle serait plus considérable encore si l'on se contentait d'employer des matières beaucoup plus communes : rien n'empêcherait d'employer toute espèce de substance perméable, par exemple des débris de pierres, gelives ou non.

PRÉCAUTIONS

PRISES OU A PRENDRE CONTRE LES AMONCELLEMENTS DE NEIGE. (EXTRAIT D'UNE NOTE DE M. GOSCHLER SUR SON VOYAGE EN ALLEMAGNE.)

Bavière. — Exploitation en hiver. — En temps de neige, chaque garde-ligne est accompagné de deux hommes; quand la neige devient très-abondante vers minuit, les hommes vont appeler les ouvriers supplémentaires dans les villages environnants; ceux-ci sont habitués aujourd'hui à se rendre aux points accoutumés. Quand les brigades sont réunies, elles attaquent la neige en pratiquant des tranchées et en enlevant la neige sur $1^m,45$ à $1^m,75$ de largeur et sur toute la hauteur. La voie ainsi déblayée, on fait avancer la machine, précédée d'un traîneau pesant 15,000 kilogrammes, waggon à six roues garni de lames de tôle en forme de charrue.

Les hommes ont soin de pratiquer de petites niches dans la neige pour se garer du train, qui doit toujours siffler pour annoncer son arrivée.

Dans les grands amoncellements de neige, l'ouverture des chemins se fait en trois opérations distinctes :

1° Cunette ouverte à bras d'hommes;
2° Élargissement fait avec la machine;
3° Enlèvement à bras d'hommes.

Pour frayer, il vaut mieux atteler la machine du traîneau immédiatement au train; autrement il peut se faire que si la machine-pilote marche en éclaireur, il se forme un nouvel encombrement en arrière.

Quand il faut franchir un obstacle, on élève la tension de la vapeur jusqu'à 8 et 9 atmosphères.

Les embarras de neige les plus sérieux sont ceux qui se produisent quand le vent souffle de l'ouest, le *roehne*, et donne avec force : c'est ce que les Allemands appellent *schneewehen*, tourmentes de neige qui arrivent généralement dans les mois de février et mars, entre dix et onze heures de la nuit : il est très-rare que l'orage éclate pendant le jour.

Dans ce cas, il arrive que les trains sont arrêtés, et que trois machines même attelées à la suite l'une de l'autre sont prises dans la neige.

Lorsque la neige est tombée avec trop d'abondance, au point d'empêcher les ouvriers de secours de sortir des villages, la voie ne peut être frayée immédiatement, et la machine ne peut plus passer. Les trains restent alors en place pendant un laps de temps plus ou moins long, selon la localité où se produit l'encombrement. Ainsi, dans la partie de la ligne la plus éle-

vée, où le climat est le plus rude, où les hommes ont le plus de vigueur, entre Kempten et Kaufbeuren, vers Gunzach, située à 427 mètres au-dessus du niveau du lac de Constance, et à 812 mètres au-dessus de la mer, le stationnement des trains ne dure guère que quelques heures; mais, vers Schwabmunchen, entre Buchloe et Augsbourg, à l'altitude de 500 mètres, où les hommes sont moins aguerris, moins forts, moins exercés, l'arrêt des trains dure quelquefois un et même deux jours.

Les ouvriers supplémentaires sont payés à raison de 1 fr. 50 c. pour huit à neuf heures de travail de jour ou cinq à huit heures de nuit.

L'administration ne leur donne point de vivres; avant de quitter leurs demeures ils prennent une solide nourriture et emportent au travail un morceau de pain.

Dans les remblais ou levées, il faut avoir grand soin de dégarnir toute la surface de la plate-forme de la neige qui s'y amoncelle : le moindre amoncellement devient une cause d'embarras; aussi doit-on commencer par frayer la voie, puis, une fois le train passé, on achève le déblai de neige en ménageant des surfaces planes, afin de présenter au vent le moins d'obstacles possible.

Chemins Saxo-Bavarois. — En hiver, l'exploitation ne présente pas de difficultés spéciales; le tracé du chemin et quelques paraneiges préservent la voie des tourmentes de neige.

Quand la neige tombe très-abondamment et qu'elle s'amoncelle, on emploie avec succès le chasse-neige, qui peut faire traverser des épaisseurs de neige qui s'élèvent jusqu'à 1^m,40 (cinq pieds).

Quand les rails sont gras ou qu'il tombe du verglas, les gardes-ligne sont chargés de répandre, au moyen d'un petit réservoir muni d'un long tube, du sable sur les rails, aussi bien pour augmenter l'adhérence des roues motrices à la remonte que l'action des freins à la descente.

Les machinistes ont l'ordre d'en faire de même avec leurs appareils à sable; il est important que, dans ces deux cas, le sable employé soit toujours parfaitement sec.

Wurtemberg. — Sur les chemins de Wurtemberg les neiges ne sont pas très-abondantes; en quelques points seulement la neige s'amoncelait; on y a remédié en élevant à côté de la ligne de petits cavaliers de 1^m,15 à 1^m,45 de haut, selon que l'on peut se procurer des terres à bon compte.

Pour frayer la voie, quand la neige n'a pas plus de 0^m,60 de hauteur environ, et quand elle n'est pas trop serrée, on la repousse au moyen d'une charrue suspendue à l'avant d'un waggon ordinaire à huit roues, lourdement chargé; les lames de la charrue s'élèvent à 0^m,10 au-dessus du rail.

Quand la neige s'élève à plus de 0^m,60 de hauteur, ou quand elle est très-dense, il faut frayer la voie à bras d'hommes.

En somme, l'hiver n'apporte pas de grandes difficultés dans l'exploitation, et la circulation n'en est jamais interrompue.

Prusse. — Aux chemins de fer prussiens, on n'a pas rencontré de difficultés à parcourir les tunnels; mais les forêts donnent, en automne, beaucoup de peine à l'exploitation.

Le temps des neiges est très-pénible pour l'exploitation. M. Hartwich pense que, dans le cas d'orage de neige, il n'y a rien à faire que d'arrêter l'exploitation; généralement ces tourmentes de neige ne durent guère plus d'un ou deux jours. Quand elles ont cessé, on vient déblayer à bras d'hommes; les chariots, traîneaux, etc., ne sont d'aucun secours.

Dans les chemins du Nord et de l'Est, en Prusse, on a été arrêté avec six machines dans la neige, à 16° Réaumur de froid; les pompes gèlent; et, ce qui est plus mauvais encore, c'est qu'il se forme sous les roues des machines de petits coins de glace que l'on ne peut enlever et qui font pâtiner les roues.

TABLEAU

DES OPÉRATIONS A FAIRE ET DES PIÈCES A PRODUIRE DANS LA RÉDACTION DES PROJETS DÉFINITIFS DES CHEMINS DE FER.

DÉTAIL DES OPÉRATIONS.	DÉSIGNATION de L'UNITÉ.	NUMÉROS DES PRIX.	PRIX.
CHAPITRE Ier. LEVÉE ET DESSIN DES PLANS PARCELLAIRES ET EXTRAITS DES MATRICES CADASTRALES.			fr. c.
1. Levée et construction du plan parcellaire. (Art. 1 à 7.) — Pour une largeur de 200 à 250 mètres dans le parcellaire ordinaire...... Et de 100 à 120 mètres seulement dans les agglomerations de maisons....	le kil. de chemin de fer.	1	70 »
Pour chaque mètre de largeur de plus demande par l'ingénieur........ dans le parcellaire ordinaire	*Id.*	2	0 35
dans les agglomerations de maisons.....	*Id.*	3	0 70
2 Levée et construction des plans des abords des routes, chemins et cours d'eau traversés. (Art. 8.). — Somme fixe..................	le plan.	4	5 »
En sus par hectare..................	l'hectare.	5	5 »
3 Confection des calques du cadastre et des extraits de la matricule des rôles. (Art. 9 et 10.)................	le kil. de chemin de fer.	6	20 »
CHAPITRE II. CONFECTION DES PLANS ET DES ÉTATS INDICATIFS D'EXPROPRIATION ET PRÉPARATION AU BORNAGE.			
4. Tracé sur le plan parcellaire des emprises de terrain à exproprier et calculs des surfaces de ces terrains. (Art. 12.)........................	*Id.*	7	20 »
5 Copie en triple expédition de la minute du plan parcellaire. (Art. 13.)........................	*Id.*	8	30 »
6 Fourniture des plans autographiés. (Art. 14.) — Composition et correction des plans et titres..........................	le mètre courant de plan.	9	17 »
Papier vergé......................	*Id.*	10	0 20
Papier mécanique..................	*Id.*	10bis	0 10
Tirage de 1 à 100 exemplaires........	*Id.*	11	10 »
Assemblage, collage et lavis..........	*Id.*	12	0 20
Collage sur toile....................	*Id.*	13	1 »
7 États parcellaires (art. 15) en double expédition..........	le kil. de chemin de fer.	14	16 »
8. États indicatifs des terrains, en triple expédition, y compris le carton pour le dossier des enquêtes. (Art. 15.)..	*Id.*	15	21 »
9. Rigole, piquetage et bornage des terrains à exproprier (Art. 16.)........................	le kil. de rigoles.	16	35 »
10. Fourniture en double expédition d'extraits du plan parcellaire et des notes descriptives devant servir pour le bornage contradictoire dans les actes de vente. (Art. 17.)	le kil. de chemin de fer.	17	60 »
11. Levée et calculs spéciaux des terrains à exproprier après le rigolage (Art. 17.)........................	*Id.*	18	30 »

DÉTAIL DES OPÉRATIONS.	DÉSIGNATION de L'UNITÉ.	NUMÉROS DES PRIX.	PRIX.
CHAPITRE III. Occupations temporaires.			fr. c.
12. Opérations relatives aux occupations temporaires. (Art 18.) — Extrait du plan cadastral et de la matrice des rôles — à payer par parcelle	la parcelle	19	0 25
— à payer en sus par hectare	l'hectare.	20	1 »
Levée et construction du plan parcellaire — à payer par parcelle	la parcelle.	21	1 25
— à payer en sus par hectare	l'hectare.	22	5 »
États indicatifs et calculs des terrains à occuper — à payer par parcelle	la parcelle.	23	0 50
— à payer en sus par hectare	l'hectare.	24	2 »
État de lieux contradictoire. — à payer par parcelle	la parcelle.	25	2 »
— à payer en sus par hectare	l'hectare.	26	5 »
Rapport donnant les bases de l'estimation — à payer par parcelle	la parcelle.	27	1 »
— à payer en sus par hectare	l'hectare.	28	3 »
CHAPITRE IV. Estimation des terrains.			
13. Relevé des ventes amiables et publiques. (Art. 19.)	le kil. de chemin de fer.	29	20 »
14. Confection des procès-verbaux de classement. (Art. 20.)	*Id.*	30	10 »
15. Confection des états d'estimation des terrains à exproprier. (Art. 20.)	*Id.*	31	50 »
16. Fournitures des notes explicatives des offres faites pour les terrains dont l'indemnité sera réglée par le jury. (Art. 21.)	*Id.*	32	10 »
CHAPITRE V. Clôtures provisoires et définitives du chemin de fer.			
17. Tracé des clôtures et des haies, compris piquetage et rigolage. (Art. 22, 23 et 24.)	*Id.*	33	30 »
CHAPITRE VI. Terrier et plan parcellaire.			
18. Confection, reliure et cartonnage du terrier. (Art. 25 et 26.)	*Id.*	34	50 »
CHAPITRE VII. Bornage contradictoire définitif des terrains acquis.			
19. Levée, construction du plan, minute et calculs relatifs aux plans de bornage définitif. (Art. 27, 28, 29 et 30)	*Id.*	35	100 »
20. Rédaction du procès-verbal de bornage. (Art. 31)	*Id.*	36	25 »
21. Obtention des signatures des riverains et avertissements des juges de paix. (Art. 32.)	*Id.*	37	30 »
22. Confection, reliure et cartonnage de deux expéditions des plans et procès-verbaux de bornage. (Art. 33 et 34.)	*Id.*	38	30 »
23. Fourniture, transport et pose des bornes. (Art. 35, 36, 37, 38 et 39.) — Grosses bornes	la pièce.	39	2 40
— Petites bornes	*Id.*	40	» 90
24. Honoraires de chaque vacation de trois heures employées à des opérations non prévues au cahier des charges — Pour l'entrepreneur	la vacation.	41	4 »
— Pour un géomètre sous ses ordres	*Id.*	42	3 »

D'UN MÈTRE COURANT DE CHEMIN

NOTA. Un mètre de chemin à deux voies coû-

DÉSIGNATION des MATÉRIAUX et des MAINS-D'OEUVRE.	DESCRIPTION DES MATÉRIAUX. NOMBRE.	NATURE.	LONGUEUR par unité.	LONGUEUR à compter.	CUBE par unité.	CUBE à compter.	POIDS par unité.	POIDS à compter.
			m.	m.	m.	m.	kil.	kil.
BALLAST	»	Sable	»	»	»	2, 50	»	»
		Gravier.	»	»	»	2, 40	»	»
	»		»	»	»	2,145	»	»
		Sable, pierre cassée sur 25 kilom.	»	»	»	2, 00	»	»
TRAVERSES, SABOTAGE COMPRIS. Traverses de joints, sabotage	0t,222	0,09 chêne, 0,01 sapin ou hêtre préparé.	»	»	0,130	»	»	»
		Chêno.	»	»	0,130	»	»	»
	0 ,222	Chêne naturel	»	»	0, 14	0, 03	»	»
	0 ,166		»	»	0,122	»	»	»
Traverses intermédiaires.	0 ,666	0,09 chêne, 0,01 sapin ou hêtre préparé.	»	»	0,100	»	»	»
		Chêne.	»	»	0,100	»	»	»
	0 ,667	Id.	»	»	0,105	0, 07	»	»
	0 ,833	Id	»	»	0,093	»	»	»
Traverses de joints et traverses intermédiaires	1 , 11	Id.	»	»	0,105	»	»	»
COUSSINETS. Coussinets de joints	0c,444	Fonte.	»	»	»	»	12,50	5,55
	0 ,444	Id.	»	»	»	»	12,10	5,37
	0 ,333	Id.	»	»	»	»	10,50	3,50
Coussinets intermédiaires	1 ,333	Id.	»	»	»	»	10,40	13 86
	1 ,133	Id.	»	»	»	»	10,30	13,73
	1 ,666	Id.	»	»	»	»	8,80	14,66
Coussinets de joints et coussinets intermédiaires	2 , 22	Id.	»	»	»	»	»	21,20
CHEVILLETTES	3c,555	Fer.	»	»	»	»	0,333	1,184
	3 ,555	Id.	»	»	»	»	0,301	1,07
	4 ,000	Id.	»	»	»	»	0,300	1,20
	4 ,444	Id.	»	»	»	»	0,273	1,213
RAILS	»	Fer.	4m,50	2m,00	»	»	37,50	75,00
	»	Id.	4 ,50	2 ,00	»	»	37,50	75,00
	»	Id.	6 ,00	2 ,00	»	»	30,03	60,06
	»	Id.	4 ,50	2 ,00	»	»	30,00	60,00
COINS	1c,777	Chêne.	»	»	»	»	»	»
	1 ,778	Id.	»	»	»	»	»	»
	2 ,000	Id.	»	»	»	»	»	»
	2 , 22	Id.	»	»	»	»	»	»

Total du prix des matériaux.....................

Réception des matériaux, transport à pied d'œuvre, approche et pose ou emploi..........

Somme à valoir pour rechargement, entretien, etc.........

DÉPENSES TOTALES.................

DE FER A SIMPLE VOIE.

ternit exactement le double des prix ci-dessous.

PRIX DE REVIENT.

QUANTITÉ.	PRIX DE L'UNITÉ.	CHEMIN DE STRASBOURG ET EMBRANCHEMENTS. Ligne principale de Paris à Strasbourg.	Embranchement de Frouard à Sarrebruck.	Embranchement de Metz à Thionville.	Embranchement de Strasbourg à Wissembourg.	CHEMIN DE PARIS A ORLÉANS et embranchement de Corbeil[2].
m. c	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
2 ,50	3 50	8 75	8 75	»	»	»
2 ,40	1 50	»	»	8 60	»	»
2 ,145	3 50	»	»	»	7 51	»
2 ,00	3 31[1]	»	»	»	»	7 62
0^{t},222	3 45	1 37	»	»	»	»
0 ,222	9 20	»	2 04	»	»	»
0 ,03	41 00	»	»	1 36	»	»
0 ,222	0 20					»
0 ,166	5 56	»	»	»	0 92	»
0 ,666	6 80	4 53	»	»	»	»
0 ,666	7 10	»	1 72	»	»	»
0 .07	44 00	»	»	3 21	»	»
0 ,667	0 20					»
0 ,833	4 30	»	»	»	3 58	»
1 ,11	7 99	»	»	»	»	3 87
5^{h},55	0 255	1 41	1 41	»	»	»
5 ,37	0 18	»	»	0 86	»	»
3 ,50	0 202	»	»	»	0 71	»
13 ,86	0 255	3 53	3 53	»	»	»
13 ,73	0 16	»	»	2 20	»	»
14 ,88	0 202	»	»	»	2 96	»
21 ,20	0 307	»	»	»	»	6 51
1^{h},18	0 50	0 50	0 59	»	»	»
1 ,07	0 36	»	»	0 38	»	»
1 ,20	0 485	»	»	»	0 53	»
1 ,21	0 63	»	»	»	»	0 76
75^{h},00	0 35	26 25	26 25	»	»	»
75 ,00	0 235	»	»	17 63	»	»
60 ,06	0 26	»	»	»	15 62	»
60 ,00	0 392	»	»	»	»	23 52
1^{c},78	0 10	0 18	0 18	»	»	»
1 ,778	0 097	»	»	0 17	»	»
2 ,00	0 09	»	»	»	0 13	»
2 ,22	0 19	»	»	»	»	0 42
....		47 11	47 47	29 41	32 06	47 70
....		2 00	2 00	1 25	0 79	3 80[3]
....		0 39	0 89	0 34	1 28'	1 12[4]
....		50 00	50 36	31 50	34 13	52 62

OBSERVATIONS.

1. Résultats moyens du décompte définitif du premier établissement dressé en 1844 par M. Jallier, ingénieur en chef de la ligne.

2. Le prix moyen a été de 4 fr. 35 de Juvisy à Orléans, et seulement 2 fr. 14 de Paris à Corbeil.

3. Comprenant 1 franc 80 pour transport des rails, sabots, traverses, chevilles et coins pesant 200 kilogr. par mètre courant de voie, des ports de livraisons aux chantiers de dépôt; et 2 fr. pour transports des matériaux des chantiers de dépôts à pied d'œuvre, pose provisoire d'une voie pour le transport du ballast par wagons, relèvements de cette voie et pose définitive de la seconde voie après le répandage du ballast, pose de différentes voies de service, transports de quelques terrassements et du ballast.

4. Pour frais de réception de matériaux, clôture, garde et surveillance des chantiers de dépôt, relèvement et entretien de la voie par suite des premiers terrassements pendant l'exécution des travaux.

5. Entretien pendant un an.

PRIX DE REVIENT

DES PLAQUES TOURNANTES EN FONTE ET EN TÔLE DE DIFFÉRENTS DIAMÈTRES.

Plaque en fonte de $3^m,40$. Modèle de l'Est.

		k.	fr.	k.	fr.	fr.
1° Fers et fontes.	Plateau mobile.	1,911		4,961 à	0,48	2,381 28
1° Fers et fontes.	Pivot et accessoires. . .	51				
1° Fers et fontes.	Plateau fixe.	1,021				
1° Fers et fontes.	Cuve.	967				
1° Fers et fontes.	Plaques de recouvrement.	725				
1° Fers et fontes.	Galets et accessoires. . .	253				
		m.	fr.		fr.	
2° Pose.	Fouille dans le ballast. .	7,54 à	0,60		4,52	126 73
2° Pose.	— dans le sol. . . .	6,30 à	0,70		4,41	
2° Pose.	Ballast pour fondations, pilonnage et arrosage. .	6,30 à	6,00		37,80	
2° Pose.	Pose de la plaque, compris raccords, enteurage en briques au pied de la cuve.	»	»		65,00	
2° Pose.	Fourniture de briques. .	»	»		5,00	
2° Pose.	Coupe de rails.	8,00 à	1,25		10,00	
				Total.		2,508 01

Plaque en fonte de $4^m,20$. Modèle de l'Est.

		k.	fr.	k.	fr.	fr.
1° Fers et fontes.	Plateau mobile.	3,904		9,432 à	0,48	4,527 36
1° Fers et fontes.	Pivot et accessoires. . . .	57				
1° Fers et fontes.	Plateau fixe.	2,180				
1° Fers et fontes.	Cuve.	1,760				
1° Fers et fontes.	Plaques de recouvrement.	990				
1° Fers et fontes.	Galets et accessoires. . .	541				
		m.	fr.		fr.	
2° Pose.	Fouille dans le ballast. .	11 à	0,60		6,60	171 60
2° Pose.	— dans le sol. . . .	10 à	0,70		7,00	
2° Pose.	Ballast pour fondations, pilonnage et arrosage. .	10 à	6,00		60,00	
2° Pose.	Pose de la plaque, compris raccords et entourage en briques au pied de la cuve.	»	»		80,00	
2° Pose.	Fourniture de briques. .	»	»		8,00	
2° Pose.	Coupe de rails.	8 à	1,25		10,00	
				Total.		4,698 96

Plaque de $11^m,60$, système Buddicom, des chemins de l'Est.

		fr.
1° Fers, fontes et bois.	Acquisition de la plaque (forfait).	15,600 00

		m. c.	fr.	fr.	fr.
				Report.	15,600 00
2° Fondation.	Massif général de béton.	150 à	18,00	2,700 00	
	Pierre de taille, compris parements.	18 à	100,00	1,800 00	
	Mur de cuve, la fondation et le couronnement comptés dans les articles précédents.	40 à	25,00	1,000 00	5,500 00
3° Plancher.	Plancher en bois de 0m,080 d'épaisseur.				650 00
4° Pose.	Pose de la plaque.				450 00
				Total.	22,200 00

Plaque en tôle et fonte de 4m,20. Modèle du Midi.

		k.	fr. c.	fr.	fr.
1° Fers et fontes.	Plateau supérieur fers à T.	1,161			
	Tôle.	353			
	Rails.	650			
		2,164	à 0,90	1 947 60	
	Le reste de la plaque en fonte.	4,500	à 0,48	2,160 00	4,107 60
2° Plancher en bois.	Plancher en bois de 0m,08.				200 00
3° Pose.	Comme pour la plaque en fonte de l'Est.				171 60
				Total.	4,479 20

Remarque. Les plaques de ce modèle sont en construction, l'essai n'en a pas encore été fait.

Plaque en fonte de 6m,00. Modèle de l'Est.

		k.	fr.	k.	fr.	fr.
1° Fers et fontes.	Plateau mobile.	5,746				
	Pivot et accessoires. . .	59				
	Cercle de roulement et socle du pivot.	1,908		12,435 à	0,48	5,968 80
	Cuve.	1,642				
	Plaques de recouvrement.	2,393				
	Galets et accessoires. . .	687				
2° Châssis.	Traverses de $\frac{0.15}{0.25}$.			7 à	6,00	42 00
				A reporter.		6,010 80

		m. c.	fr.	fr.	fr.
	Report.				6,010 80
3e Pose.	Fouille dans le ballast.	38,50	à 0,60	23,10	401 05
	— dans le sol.	38,50	à 0,70	26,95	
	Ballast pour fondations, arrosage et pilonnage.	38,50	à 6,00	231,00	
	Assemblage du châssis de support.			10,00	
	Pose de la plaque, compris raccords et entourage en planches de chêne.			100,00	
	Coupe de rails.	8,00	à 1,25	10,00	
	Total.				6,411 85

Plaque en fonte de 11m,00. *Modèle de l'Est.*

		k.	fr.	m.	fr.	fr.
1° Fers et fontes.	Plateau mobile.	12,198		20,240 à 0,48		9,715 00
	Pivot et accessoires.	104				
	Cercle de roulement et support de pivot.	2,473				
	Cuve.	2,843				
	Plaques de recouvrement en tôle.	1,007				
	Galets et accessoires.	1,615				
2° Fondations.	Massif général de béton.	120	à 18 00		2,160 00	4,560 00
	Pierre de taille, compris parements.	15	à 100,00		1,500 00	
	Mur de cuve, la fondation et le couronnement comptés dans les articles précédents.	36	à 26,00		900 00	
3° Plancher.	Plancher en bois de 0m,080 d'épaisseur.					600 00
4° Pose.	Pose de la plaque.					400 00
	Total.					15,275 00

Plaque en tôle et fonte de 4m,20. *Modèle du Nord.*

		k.	fr.	fr.	fr.
1° Fers et fontes.	Plateau supérieur.				5,162 64
	Tôles.	2,312			
	Rails	476			
		2,788	à 0,90	2,509 20	
	Le reste de la plaque en fonte comme le modèle de l'Est.	5,528	à 0,48	2,653 44	
2° Pose.	Comme pour la plaque en fonte de l'Est.				171 60
	Total.				5,334 24

Plaque de 3^m,50, *en fonte. Nouveau modèle de l'Est.*

5,200 kilogrammes de fonte, de fer et d'acier, composant la plaque proprement dite, à raison de 52 fr. les 100 kilogr.	2,704 fr.	» c.
Une garniture d'encoches avec ses huit boulons et ses huit clavettes.	70	50
Une garniture de bridgerails pesant 660 kilogr., à raison de 265 fr. les 1,000 kilogr.	174	90
Façon de ladite garniture.	55	»
Pose de la garniture sur la plaque et fourniture des fourrures.	41	»
21 kilogr. 420 grammes de boulons nécessaires pour la pose de la garniture de rails sur la plaque, à raison de 1 fr. le kilogr.	21	42
6^{m2},41 de madriers pour parquet de recouvrement, à raison de 6 fr. 67 le mètre carré.	42	75
TOTAL.	3,109 fr.	57 c.

Plaque de 4^m,50, *en fonte. Nouveau modèle de l'Est.*

6,150 kilogr. de fonte, de fer et d'acier, composant la plaque proprement dite, à raison de 54 fr. les 100 kilogr.	3,321 fr.	» c.
Une garniture d'encoches avec ses huit boulons et ses seize clavettes.	70	50
Une garniture de bridgerails pesant 810 kilogr., à raison de 265 fr. les 1,000 kilogr.	214	65
Façon de ladite garniture.	55	»
Pose de la garniture sur la plaque et fourniture des fourrures.	51	»
23 kilogr. 070 grammes de boulons nécessaires pour la pose de la garniture sur la plaque, à raison de 1 fr. le kilogr.	23	07
1^{m3},487 de bois de chêne pour châssis de fondation, à raison de 100 fr. le mètre cube.	148	70
20 kilogr. 090 grammes de boulons nécessaires pour l'assemblage du châssis ci-dessus, à raison de 0,62 cent. le kilogr.	12	46
11^{m2},28 de madriers en chêne pour parquet de recouvrement, à raison de 6 fr. 67 le mètre carré.	75	24
TOTAL.	3,971 fr	62 c.

Plaque de 4^m,50, *en tôle. Modèle de l'Est.*

4,580 kilogr. de fonte pour croisillon, galets, cuve, etc., etc., à raison de 42 fr. les 100 kilogr.	1,923 fr.	60 c.
4,270 kilogr. de fer, tôle, etc., pour fers à double T, plate-forme, rails, etc., etc., à raison de 92 fr. les 100 kilogr.	3,928	40
TOTAL.	5,852 fr.	» c.

Voir, dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, les détails des plaques en fonte de 3^m,50, ceux des plaques en fonte et bois et de la plaque en tôle de 4^m,50, et enfin ceux de la plaque Buddicom, de 11^m,60.

DEVIS

DES CHANGEMENTS DE VOIE DU SYSTÈME WILD.

1° *Déviation à deux voies avec croisement sous l'angle de* 5° 1/2.

1° RAILS SPÉCIAUX.	Rails en fer ordinaire. . 744^{k},65 à 300^{f}	223 39	516 53
	— en fer de 1re qual. 771 56 à 380	293 19	
2° FAÇON ET COUSSINETS.	Façon de la ferrure et fourniture des coussinets spéciaux (prix à forfait).		610 00
3° CHARPENTE.	Pour le changement. . . 1st,294		
	Pour le croisement. . . . 1 106		
	2st,400 à 85^{f}.		204 00
4° SABOTAGE ET POSE.	Sabotage du châssis. Transport et pose.		110 00
	Total.		1440 53
A ajouter la voie oblique entre l'aiguille et le croisement.			
	Rails 57^{m},80 pesant. . . . . 2167^{k} à 24^{f},00	520 00	740 00
	Traverses sabotées. . . . . 18 à 9^{f},00	162 00	
	Pose.	58 00	
	Total général		2180 58
A déduire les matériaux de la voie droite à l'emplacement du changement et du croisement évalués à environ.			180 58
	Reste.		2000 00

2° *Déviation à trois voies avec croisement simple sous l'angle de* 7° 1/2 *et croisement double sous l'angle de* 5° 1/2.

1° RAILS SPÉCIAUX.	Rails en fer ordinaire. . . 801^{k} à 300^{f}	240 30	1087 78
	— en fer de 1re qualité. 2231 à 380	847 78	
2° FAÇON ET COUSSINETS.	Façon de la ferrure et fourniture des coussinets spéciaux (prix à forfait).		1250 00
3° CHARPENTE.	Pour le changement. . . . . . 2st,162		
	Pour le croisement 7° 1/2. . . . 1 341		
	Pour le croisem^t double 5° 1/2. 1 694		
	5st,200 à 85^{f}. . . .		442 00
4° SABOTAGE ET POSE.	Sabotage des châssis. . Transport et pose, etc.		200 00
	Total.		2979 78
A ajouter les voies obliques entre le changement et le croisement double.			
	Rails 82^{m} pesant. . . . . 3075^{k} à 24^{f}	738 00	1051 00
	Traverses sabotées. . . . . 26 à 9^{f}	234 00	
	Pose.	82 00	
	Total général.		4033 78
A déduire les matériaux de la voie droite à l'emplacement du changement et des croisements évalués à.			333 78
	Reste.		3700 00

Voir ces changements dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur.*

RAPPORT

DE L'INGÉNIEUR PRINCIPAL DE LA PREMIÈRE DIVISION DES CHEMINS DE FER DE L'EST RELATIF AUX CHANGEMENTS ET CROISEMENTS DE VOIE EN ACIER.

Des essais de changements et croisements de voies en acier fondu et en acier puddlé ont été faits à la gare de la Villette.

Un changement et un croisement de voie en acier fondu, expédiés de Graffenstaden, ont été posés, le 10 février 1856, sur la voie descendante, un peu après la traversée de voie, sur une partie très-fréquentée par les trains et les machines locomotives.

Ces deux appareils en acier fondu, en place depuis cent soixante-neuf jours, sont encore aujourd'hui en parfait état; ils n'ont eu besoin d'aucunes réparations, et l'on ne remarque qu'une légère usure régulière à leur surface, usure à peine visible.

Les pièces qui fatiguent le plus dans les appareils de voie sont les pattes de lièvre et les cœurs.

Les premières de ces pièces, faites en fer fort avec mise d'acier, durent environ six mois à l'emplacement sus-indiqué, et les secondes un peu plus du double. Les aiguilles ordinaires durent, en moyenne, dix-huit mois.

Dans les appareils expérimentés, comme nous venons de le dire, ces pièces, au bout de six mois environ, n'ont encore subi qu'une légère trace d'usure, à peine sensible.

Il y a tout lieu de croire qu'elles auront une durée bien plus grande que celle des pièces ordinaires, durée qu'on peut porter au moins au double sans crainte d'exagération.

Une traversée de voie en acier puddlé, confectionnée chez MM. Warral et Middleton, a été posée, le 20 mars 1856, sur la voie descendante, au-dessous du changement de voie sus-indiqué.

Cette traversée de voie est la partie la plus fatiguée dans toute la gare de la Villette; elle se trouve sur un point où le passage des trains et des machines de toute espèce est continuel.

Avec beaucoup de réparations, l'on parvenait à faire durer cent vingt-neuf jours cet appareil de voie fabriqué en fer fort avec mise d'acier.

Les pièces en acier puddlé, d'après la date de pose ci-dessus, travaillant depuis cent vingt-huit jours à la même place, ne présentent aucunes traces sensibles d'altération ou d'usure; la surface du champignon ou des pointes de cœur est encore complétement intacte. Ces pièces auront donc une durée bien plus grande que les pièces ordinaires.

D'après ces expériences, le soussigné pense qu'il y aurait un bien grand

intérêt pour la Compagnie à faire tous ses changements et croisements de voies en acier fondu ou en acier puddlé.

En effet, si ces appareils coûtent un peu plus cher que ceux ordinaires en fer fort aciéré, cette augmentation de dépense d'établissement se trouve compensée, et largement au delà, par une durée que l'on peut dès aujourd'hui, sans exagération, porter au double, et par la diminution des frais continuels de réparations qu'occasionnent les pièces ordinaires; ils ont aussi un avantage d'une très-grande valeur sur celles-ci : c'est que, ne présentant qu'une usure régulière et très-lente, ils ne donnent pas lieu à des chocs sensibles dans le matériel roulant.

Voici les prix comparés de la partie métallique des changements et croisements de voie ordinaires avec des changements et croisements de voie en acier puddlé, en admettant que le prix des 100 kilogrammes de ce dernier soit de 55 fr.

CHANGEMENT ORDINAIRE AVEC FER FORT ACIÉRÉ.

1° A deux voies :	
811 kil. 40 de fer fort, y compris l'aciérage, à 45 fr. les 100 kilog.	365 fr. 15 c.
Confection des pièces spéciales et coussinets en fonte. . .	500 »
TOTAL.	865 fr. 15 c.
2° A trois voies :	
1,948 kil. 12 de fer fort aciéré, à 45 fr. les 100 kilog. . .	876 fr. 65 c.
Confection des pièces spéciales et coussinets en fonte.	1,030 »
TOTAL.	1,906 fr. 65 c.

CHANGEMENT DE VOIE EN ACIER PUDDLÉ.

1° A deux voies :	
811 kil. 40 d'acier puddlé, à 55 fr. les 100 kilog. . . .	446 fr. 27 c.
Confection des pièces spéciales et coussinets en fonte. .	500 »
TOTAL.	946 fr. 27 c.
2° A trois voies :	
1,948 kil. 12 d'acier puddlé, à 55 fr. les 100 kilog. . .	1,071 fr. 47 c.
Confection des pièces spéciales et coussinets en fonte. .	1,030 »
TOTAL.	2,101 fr. 47 c.

Ainsi un changement à deux voies en acier puddlé coûterait.	946 fr. 27 c.
au lieu de.	865 15
qu'il coûterait en fer fort aciéré.	
Soit en plus.	81 fr. 14 c.

Et un changement à trois voies en acier puddlé coûterait.	2,101 fr. 47 c.
au lieu de.	1,906 65
qu'il coûterait en fer fort aciéré.	
Soit en plus.	194 fr. 82 c.

En résumé, les changements de voie en acier pudlé coûteraient environ le dixième en sus en moyenne des changements en fer fort aciéré; cette augmentation de prix serait faible en raison de la durée de ces appareils, durée qui est au moins le double de celle des autres, *pourvu que l'acier soit bien fabriqué*, condition difficile encore à obtenir.

Les dépenses de réparations pendant la durée de ces pièces seraient à peu près nulles, tandis qu'elles sont notables dans les changements de voie ordinaires.

Enfin ils auraient le grand avantage d'offrir un roulement plus doux au matériel de traction, en ce que les chocs seraient bien moindres.

PRIX

DU MÈTRE CARRÉ DES BATIMENTS DE PLUSIEURS CHEMINS DE FER.

Chemin de fer du Nord.

Bâtiments à 1 étage	250 fr.	»
Bâtiments à rez-de-chaussée	150	»
Halles de marchandises	55	»
Quais découverts	8	»
Remises de voitures	50	»
Par voiture	1,550	»
Dépôts de locomotives, par machine	12,000	»

Gare de Clermont-Ferrand.

Bâtiments à 1 étage	213 fr.	»
Bâtiments à rez-de-chaussée	113	»
Bâtiments des voyageurs, en moyenne	126	»
Halle couverte	57	35
Trottoirs	8	76
Halle aux marchandises	61	58
Quais découverts	9	30
Remises de voitures	46	65
Par voiture	1,370	»
Dépôt des locomotives	66	13
Par machine	12,476	»

Gare de Saint-Germain-des-Fossés.

Halle aux marchandises	65 fr.	»
Remises des voitures	73	»
Par voiture	2,191	»
Dépôt des locomotives, par machine	14,000	»

Gare du Guétin.

Remise des voitures, par voiture	1,437 fr.	»
Dépôt des locomotives, par machine	12,000	»

Stations d'Alsace (3e classe).

Brumath, Vendenheim, Hochfelden, etc.

Les bâtiments, en moyenne	149 fr.	»

Tout en maçonnerie et belle pierre de taille.

Gare de Limoges.

Estimation :

Halle couverte	50 fr.	»
Trottoirs des voyageurs	15	»
Halles aux marchandises	61	»
Quais découverts des marchandises	8	»
Remises des voitures	50	»
Dépôt des locomotives, par machine	10,000	»

(Extrait des nouvelles annales de la construction.)

NOTE

SUR LES PRIX DE REVIENT DE DIVERS BATIMENTS, HALLES COUVERTES DE VOYAGEURS, HALLES DE MARCHANDISES, ETC.

INDICATION DES BATIMENTS, ETC.	DIMENSIONS. Longueur.	DIMENSIONS. Largeur.	SURFACES. Partielles.	SURFACES. Totales.	PRIX DE REVIENT Partiels.	PRIX DE REVIENT Par mètre carré.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	fr.	fr.	
Rotonde pour 14 locomotives, de 45m,00 de diamètre hors œuvre, à Epernay........	»	»	»	1675.00	105 000	62 75	Y compris les fosses, mais sans pavage.
Id., à Nancy..............	»	»	»	*Id.*	90 000	55 30	*Id.*
Id., à Épernay............	»	»	»	*Id.*	115 000	68 75	Y compris les fosses et le pavage.
Id., à Nancy..............	»	»	»	*Id.*	100 000	61 50	*Id.*
Id., à Épernay..........	»	»	»	*Id*	148 000	88 35	Avec plaques tournantes, voies de fer.
Id., à Nancy..............	»	»	»	*Id.*	133 000	82 00	*Id.*
Nota. Dans les nouvelles rotondes à construire, on substituera aux colonnes en fonte à l'intérieur des poteaux en bois, et aux chéneaux des gouttières, ce qui apportera une reduction de 17 000 fr. sur la dépense totale; on aura donc, pour une rotonde à construire à Epernay, comprenant les plaques tournantes et les voies de fer..........					131 000	78 20	
Remise de locomotives en fer à cheval à la Villette ..	»	»	»	1891,00	75 000	40 70	Avec fosses et sans pavage.
Diamètre extérieur..... 71m	»	»	»	*Id.*	87 000	46 00	Avec fosses et pavage.
Diamètre intérieur..... 38m	»	»	»	»	137 000	96 00	Avec plaque et voies.
Remise rectangulaire de locomotives à la Villette..	23	19	»	440,00	30 000	68 00	Avec fosses et sans pavage.
					33 000	75 00	Avec fosses et pavage.
					36 000	86 00	Avec fosses, pavage et voies de fer.
					48 000	40 00	Sans fosses ni voies de fer.
					68 000	57 00	Avec fosses, mais sans voies de fer.
Remise pour 16 machines, à Blesmes..............	»	»	»	»	86 000	87 00	Avec fosses et voies de fer dans l'intérieur.
					160 000	134 00	Avec fosses et voies de fer à l'intérieur et à l'extérieur, et plaque.
Remise de wagons à la Villette....................	»	»	»	»	»	35 00	Sans voies de fer.
Bâtiment des voyageurs de la gare de Paris	»	»	»	4375,00	1 631 700	372 96	
Halle couverte de Paris	150	30 00	»	4500,06	270 000	60 00	
Id. de Strasbourg	102	31 00	»	3168 00	»	50 00	
Bâtiments des voyageurs, près Paris. Type nº 1....	»	»	»	360,00	»	200 00	
Id. nº 2....	»	»	»	265.00	»	180 00	
Id. nº 3....	»	»	»	212,00	»	175 00	
Id nº 4....	»	»	»	131,00	»	173 00	

INDICATION DES BATIMENTS, ETC.	DIMENSIONS		SURFACES.		PRIX DE REVIENT.		OBSERVATIONS.
	Longueur.	Largeur.	Partielles.	Totales.	Partiels.	Par mètre carré.	
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	fr.	fr.	
Lunéville	»	»	»	»	65 000	180 00	
Sarrebourg	»	»	»	»	43 000	182 00	
Commercy	»	»	»	»	27 000	102 00	
Varangeville	»	»	»	»	25 000	185 00	
Blainville	»	»	»	»	25 000	162 00	
Halle à marchandises — Type n° 1	5,50	17,50	»	96,25	»	32 00	Sans quai ni pavage.
Halle à marchandises — *Id.* n° 2	5,50	15,50	»	85,25	»		
Halle à marchandises — *Id.* n° 3	5,00	12,50	»	82,50	»	45 00	Avec quai et pavage.
Quai pour voyageurs	1,00	3,00 4,00	» »	*a* 3,00 4,00	» »	15 m c^t.	Le mètre courant avec le macadam en dépendant.
Quai pour marchandises	1,00	5,00 6,50 8,00	» » »	5,00 *b* 6,50 8,00	» » »	de 75 à 100 m c^t.	Le mètre courant avec le pavage en dépendant.
Pavillons de latrines — Type n° 1	8,20	4,50	»	37,00	»	Prix moyen 250 f.	
Pavillons de latrines — *Id.* n° 2	6,00	4,50	»	27,00	»		
Pavillons de latrines — *Id.* n° 3	3,00	3,00	»	9,00	»		
Maisons de garde — Type de l'État	8,00	5,70	»	45,60	4 000	87 70	Avec un second étage et cave.
Maisons de garde — Type n° 1	6,80 5,80	3,70 3,60	25,16 20,88	46,04	2 700	58 70	Dispositions spéciales, sans cave.
Maisons de garde — *Id.* n° 2	7,05 2,85	4,00 8,30	28,20 23,65	51,85	3 200	61 70	Dispositions spéciales, sans cave.
Maisons de garde — *Id.* n° 3	8,70 4,20	5,45 1,70	47,41 7,14	54,55	2 700	49 50	Avec un cellier et un four, sans cave.
Réservoir — rectangulaire	8,70	4,70	»	41,00	10 250	250 00	Pour les maçonneries et la couverture, y compris la cheminée.
Réservoir — circulaire	8,60	»	»	80,00	12 000	200 00	P^r les maçonneries, sans couverture ni cheminée.
Bâtiments divers des ateliers de la Villette.							
Grande remise de voitures avec fenêtres en fonte	»	»	»	6500,00	246 485	38 00	Sans pavage ni voies.
Bâtiments pour ateliers	100,00	14,00	»	1400,00	91 000	65 00	
Id. pour forges	50,00	10,00	»	500,00	22 500	45 00	
Id. pour logement de chef de dépôt	24,00	10,00	»	240,00	60 000	250 00	
Id. pour pavillon de concierge	»	»	»	48,00	12 000	250 00	
Bâtiments divers des ateliers d'Épernay.							
Remise de voitures	»	»	»	»	»	33 90	
Bâtiments pour forges	100,00	20,00	»	2000,00	91 000	47 00	
Id de chaudronnerie	70,00	20,00	»	1400,00	63 000	45 00	
Id. pour atelier de montage	136,00 100,00	30,00 26,00	4080 2600	6680,00	»	43 00	Sans pavage ni voies.
Id. pour tours et ajustages	130,00	24,00	»	3120 00	140 000	45 00	Bâtiment primitif.
Deux pavillons avec magasin	40,00 40,00	24,00 24,00	960,00 960,00	1920,00	183 000	95 00	Avec un second étage, mais sans les distributions.
Pavillon de concierge	9,00	9,00	»	81,00	»	100 00	
Hangar pour magasin à bois	40,00	24,00	»	960,00	31 600	33 00	
Buffets — Type n° 1	»	»	»	350,00	56 000	160 00	
Buffets — *Id.* n° 2	»	»	»	280,00	42 000	150 00	

ab. Ces prix seraient approximativement les mêmes pour une largeur un peu plus ou un peu moins grande. L'établissement des murs d'appui avec couronnement en pierre de taille, étant le même pour toutes les largeurs de quais, et formant la base de cette dépense de construction.

Pour se rendre un compte exact des prix donnés dans le tableau précédent, il est nécessaire de connaître les éléments de la série sur laquelle les travaux ont été exécutés.

Pour la rotonde d'Épernay, construite à peu près entièrement en meulière et pierre de taille, on a payé la maçonnerie de meulière de 20 à 21 francs le mètre cube; la charpente en chêne, 112 fr. 50 c.; celle en sapin, 90 francs; les légers ouvrages de maçonnerie, 3 fr. 20 c. le mètre superficiel; les colonnes en fonte, 50 francs le quintal métrique. La remise en fer à cheval de la Villette a été exécutée, en 1848, à des prix fort inférieurs. Elle n'a coûté réellement que 58,000 francs; mais le prix de 75,000 francs[1] que nous avons indiqué est celui que nous avons trouvé en appliquant une série de prix semblable à celle d'Épernay; le prix de cette remise est donc comparable à celui de la rotonde.

La remise rectangulaire de locomotives, à Blesme, a été construite à des prix de 6 à 7 pour 100 inférieurs à ceux de la série d'Épernay.

Les bâtiments de la gare de Paris ont été exécutés sur des séries de prix différant peu de la série de prix indiquée pour les travaux de la remise en fer à cheval de la gare de Strasbourg.

Pour établir les devis des maisons de garde, construites en grande partie dans des pays où les matériaux s'obtiennent à bon marché, on a employé une série dont les prix sont sensiblement plus faibles que ceux de la série d'Épernay. Ainsi, dans cette série, le mètre cube de mur en moellons est estimé 13 fr. 80 c.; le mètre cube de pierre de taille de roche, 55 fr. 20 c.; le mètre cube de charpente en chêne sans assemblage, 73 fr. 60 c.; de charpente en sapin assemblé, 55 fr. 20; le mètre superficiel de couverture en tuiles, 2 fr. 75 c.; le mètre superficiel de croisées en chêne, 8 fr. 50.

Pour les réservoirs, on trouvera plus loin un détail estimatif indiquant le prix élémentaire.

Les ateliers de la Villette ont été construits aux prix de la série Morel, pour 1853, pour la maçonnerie, diminués de 10 pour 100, et aux prix de la série d'Épernay pour la charpente.

Les prix de la série Morel ne diffèrent pas beaucoup des prix de la série d'Épernay; la couverture en zinc, établie dans un moment où le zinc avait considérablement augmenté de prix, a coûté 7 fr. 50 le mètre superficiel.

Tous les bâtiments d'Épernay ont été exécutés aux prix de la série ci-dessus mentionnée.

Les matériaux se trouvant en grande abondance aux environs de Bar-le-Duc, la maçonnerie du buffet établi près de la station de cette ville a été

[1] La série de prix des ponts et chaussées pour les travaux auprès de Paris diffère peu de celle dont on s'est servi pour l'exécution des travaux d'Épernay. La charpente en chêne, toutefois, est cotée à Paris 132 fr. le mètre cube, et à Épernay 112 fr. Nous avons eu égard à cette différence.

exécutée à des prix très-faibles. C'est pourquoi on l'a construit presque entièrement en pierre de taille. A Château-Thierry, où les prix sont à peu près les mêmes qu'à Épernay, un buffet semblable à celui de Bar-le-Duc, établi en moellons, briques et pierres, coûterait 171 francs le mètre superficiel, au lieu de 157 francs.

Les bâtiments de stations ont généralement : 1° un bâtiment central composé d'un rez-de-chaussée élevé en partie sur cave et d'un premier étage sous comble, formant grenier au milieu; 2° de deux ailes élevées sur terre-plein, n'ayant qu'un rez-de-chaussée sous comble perdu. On compte que le bâtiment central coûte de 240 à 260 francs le mètre superficiel et les ailes de 130 à 175 francs; les prix des principaux ouvrages étant comptés comme suit :

Le mètre de briques pour massifs et murs, 45 francs; le mètre cube de moellons hourdé avec mortier de chaux et de sable, pour murs, 14 francs; le mètre cube de pierre de taille tendre, 60 francs; et de pierre dure, 90 francs; le mètre cube de bois de chêne assemblé brut pour planchers et pans de bois, 85 francs; de bois de sapin, 75 francs; le mètre superficiel de couverture en ardoise ou en tuile, de 3 fr. 75 à 4 francs; de couverture en zinc, n° 14, 6 fr.; les gros fers pour chaînes, tirants, harpons, etc., les 100 kilog. 55 francs. La peinture à l'huile, une couche, le mètre superficiel, 30 centimes; huile, deux couches, 55 centimes; huile, trois couches 75 centimes.

PRIX

DES DIFFÉRENTS TRAVAUX D'ART EXÉCUTÉS SUR LA LIGNE DE PARIS A STRASBOURG.

Sur le chemin de Strasbourg, dans la partie comprise entre Paris et les bois de Meaux, 56 ponts et passerelles, sur ou sous routes et chemins, ont coûté 2 580 664 francs, soit par pont environ.	46 083 fr.
7 ponts de 2 arches au plus sur cours d'eau ont coûté 654 921 francs, soit par pont.	93 560
26 ponceaux ou aqueducs, de 5 mètres d'ouverture au plus, ont coûté 311 165 francs, soit par ponceau ou aqueduc.	11 960
22 passages à niveau, la dépense ne comprenant que celle du pavage et des barrières, ont coûté 37 662 francs, soit par passage à niveau.	1 712
21 maisons de garde ont coûté 101 981 francs, soit par maison de garde.	4 856
3 grands ponts sur la Marne ont coûté 1 432 820 francs, soit par pont.	477 606
Sur le même chemin, entre Meaux et Château-Thierry, on a payé pour l'établissement de 72 ponts et passerelles sur ou sous routes et chemins, 1 275 167 francs, soit par unité.	17 710
10 ponts de 2 arches au plus sur cours d'eau, 309 915 francs, soit.	30 994
153 ponceaux, aqueducs, etc., de 5 mètres d'ouverture au plus, 749 083 francs, soit.	4 896
54 passages à niveau, la dépense ne comprenant que celle pour les barrières et pour le pavage, 48 039 francs, soit.	889
43 maisons de garde, 205 104 francs, soit.	4 769
12 grands ponts, 1 897 760 francs, soit par unité.	158 147
Le grand pont en maçonnerie d'Armentières, de 4 arches, long de 106 mètres 50 cent., 429 655 francs, soit par mètre.	4 034
Celui du Saussoy, de 4 arches, long de 98 mètres 60 cent., 265 658 francs, soit par mètre.	2 694
Celui de Courcelles, 4 arches, long de 97 mètres, 280 000 fr., soit par mètre.	2 886
Celui de Nanteuil, 5 arches, long de 96 mètres 92 cent., 296 591 francs, soit par mètre.	3 060
Celui de Vitry, de 5 arches, long de 90 mètres 72 cent., 167 000 francs, soit par mètre.	1 840
Un grand pont suspendu sur la Marne et le chemin de fer à Dormans, long de 112 mètres, 105 278 francs, soit par mètre.	935

Le prix élevé des ponts, passerelles et passages à niveau, sur la première partie du chemin de Strasbourg, comprise entre Paris et Meaux, tient à celui de la main-d'œuvre près de Paris, à l'importance de ces ouvrages, au passage des grandes routes dans le voisinage de la capitale.

Les maisons de gardes sont revenues à un prix considérable, par suite de leurs dimensions. Celles en construction aujourd'hui pour le chemin de Mulhouse, de la plus petite dimension, ne coûteront pas au-delà de 2,700 francs, pourvu toutefois que les fondations ne présentent pas de grandes difficultés. (Voir le devis, plus loin.)

Pour qu'on puisse se rendre un compte plus exact des dépenses faites pour les ouvrages d'art, nous donnons un extrait de la série de prix adoptés pour l'exécution de ces ouvrages dans la première division du chemin de Strasbourg, avec les rabais faits sur ces devis.

Les prix, dans la seconde division, sont d'environ un cinquième plus faibles.

EXTRAIT

DES SÉRIES DE PRIX DE LA PREMIÈRE SECTION DU CHEMIN DE FER DE PARIS A STRASBOURG.

NATURE DES MATÉRIAUX.	1er LOT entre la rue Chabrol dans Paris et les fortifications.	2e LOT entre la route impériale n° 34 à Chelles et Lagny.	3e LOT entre Lagny et la tranchée d'Isles-lès-Villenoy.
	fr.	fr.	fr.
Mètre cube de béton, compris emploi	21 82	12 76	»
id. *id.* *id.* avec pouzzolane	24 18	15 57	15 56
id. de maçonnerie de silex et mortier hydraulique pour fondations	22 21	12 69	14 77
id. de maçonnerie de silex et mortier hydraulique au-dessus des fondations	23 00	13 29	15 57
id. de maçonnerie de pierre de taille	111 83	107 31	94 47
id. de perrés en silex ou meulière à joints incertains	14 45	7 16	3 41
id. de perrés en silex ou meulière par assises réglées	18 13	9 75	10 80
id. de maçonnerie de meulière, de 0m35 de queue moyenne, tout compris	»	»	40 78
id. de maçonnerie de meulière, de 0m50 de queue moyenne, tout compris	»	»	61 78
Mètre superficiel de parements vus de meulière smillée	2 07	1 58	1 80
id. *id.* *id.* piquée	12 90	11 25	10 59
id. *id.* de pierre de taille bouchardée (droite)	8 70	7 20	5 60
id. *id.* (courbe)	17 40	14 40	11 20
id. de chape en béton avec couche de mortier hydraulique	3 10	3 25	2 66
id. de chape en bitume de 0m012 d'épaisseur	5 80	3 80	5 80
Mètre cube de bois de chêne neuf en grume pour pieux	98 00	80 00	100 00
id. *id.* équarri	116 00	104 00	118 00
id. *id.* sans assemblages	128 44	113 73	125 35
id. *id.* avec assemblages et travaillés sur les faces	163 01	148 33	157 95
id. *id.* loué pour cintres en premier emploi	83 47	65 14	96 31
id. *id.* en réemploi	14 80	13 86	11 18
Rabais des adjudications, à déduire des prix ci-dessus	7 fr. 10 p. 100	Rabais nul	5 fr. 60 p. 100

DEVIS ESTIMATIF

D'UN DISQUE SIGNAL PLACÉ A 1,000 MÈTRES.

SYSTÈME BATAILLE.

Prix du signal	278 fr.	» c.	515 fr
— de la manœuvre Robert	182	»	
— de la lanterne	55	»	
Fil de fer	150	»	370 fr.
Poulies de friction	62	50	
Piquets	37	50	
Charpente	70	»	
Pose	50	»	
Dépense totale			885 fr.

EXTRAIT DU CAHIER DES CHARGES.

Chaque disque signal comprendra :

1° La colonne support en fonte, portant à sa base une crapaudine, et dans le chapiteau un coussinet en bronze, pour le frottement de la tige des disques;

2° Le disque et sa tige;

3° Un levier fixé au bas de la tige du disque, et un levier de rappel avec contre-poids fixé à la colonne;

4° La lanterne, ses guides, et une tringle pour la monter ou la descendre;

5° Les appareils de manœuvre seront établis dans le système breveté de M. Robert.

Chaque appareil de manœuvre se composera des pièces suivantes :

1° Un tuyau en fonte de 1m,50 de longueur, terminé à la partie supérieure par une bride, et recouvert par une plaque en fonte;

2° Deux supports en fonte se fixant au couvercle du tuyau;

3° Un tambour en fonte, son axe en fer, et une couronne d'entrée fixée à l'une des joues du tambour;

4° Un levier de manœuvre en fer articulé, mobile autour de l'axe du tambour, et muni d'une lentille en fonte;

5° Un contre-poids en fonte de 0m,18 de diamètre et 0m,40 de hauteur, avec tringle disposée pour permettre l'emploi d'un contre-poids de 0m,60 de hauteur.

PRIX.

Le prix des pièces en fonte du disque et des appareils est de 50 cent. le kilogr.; des pièces en fer ou fonte, de 1 fr. 50 c.; le prix du disque ne pouvant dépasser 278 fr., celui de l'appareil 182; la lanterne est payée 55 fr.

TABLEAU

DES PRIX APPROXIMATIFS D'ÉTABLISSEMENT PAR MÈTRE CARRÉ

NATURE DES CONSTRUCTIONS.	1re. GARES DE TÊTE DE LIGNE. PARIS et LA CHAPELLE.			2e. GARES D'EMBRANCHEMENT PRINCIPAL. AMIENS et LILLE.			3e. GARES DE TÊTE DE LIGNE. DUNKERQUE et CALAIS.		
	Surface.	Prix par mètre superficiel.		Surface.	Prix par mètre superficiel.		Surface.	Prix par mètre superficiel.	
	m.	fr.	c.	m.	fr.	c.	m.	fr.	c.
[1]Bâtiment principal (des voyageurs. des employés.)	5000	300	»	5450	200	»	1300	200	»
[2]Halles couvertes	6000	66	66	4200	71	43	1400	57	15
Marquises	»	»		»	»		»	»	
[3]Halles à marchandises	12600	55	55	6240	56	10	1360	58	80
[4]Latrines	»	»		»	»		»	»	
[5]Dépôts, compris ateliers et magasins	14 278	126	10	4268	128	85	682	95	30
Dépôts, sans ateliers	»	»		»	»		»	»	
[6]Remises de wagons, avec ateliers de réparations	10 000	50	»	3321	82	80	»	»	
Remises de wagons, sans ateliers	»	»		»	»		»	45	»
Réservoirs	160	200	»	160	200	»	160	200	»
Quais de voitures, à 2 quais	2000	8	»	2130	8		»	»	
Quais de voitures, à 1 quai	»	»		»	»		1000	6	
Quais de voyageurs	2200	8	»	2500	8		1000	6	

[1] Paris, Amiens, Calais, Creil, Arras, Douai, Compiègne, Chauny, Francouville, Saint-Just, Boves, Armentières.
[2] Lille, Calais, Douai, Saint-Quentin.
[3] La Chapelle, Lille, Dunkerque.
[4] Compiègne.
[5] La Chapelle, Amiens, Dunkerque, Noyon.
[6] La Chapelle, Amiens, Dunkerque, Hazebrouck.

SYNOPTIQUE

DES STATIONS DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU NORD.

4°.		5°.		6°.		7°.	
STATIONS N° 1.		STATIONS N° 2.		STATIONS N° 3.		STATIONS N° 4.	
CREIL, ARRAS, DOUAI.		Pontoise, Compiègne, Noyon, Chauny, Clermont, Breteuil, Albert, Saint-Omer.		Francouville, Beaumont, PontSainte-Maxence, Saint-Just, Achiet, Armentières, Bergues, Andrieux, etc.		Thourotte, Apilly, Ourscamp, Boileux, Rauix, Vitry, Laforet, Perenchies, etc.	
Surface.	Prix par mètre superficiel.	Surface.	Prix par mètre superficiel.	Surface.	Prix par mètre superficiel.	Surface.	Prix par mètre superficiel.
m.	fr. c.	m.	fr. c.	m.	fr. c.	m.	fr. c.
680	150 »	145	172 »	102	100	84	100 »
	220 »	100	250 »	168	100	»	»
1000	55 »	»	»	»	»	»	»
»	»	210	47 60	105	47 60	»	»
880	56 80	520	57 70	320	62 50	»	»
40	250 »	36	139 »	30	83 »	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»
375	93 33	187	96 25	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»
375	53 33	187	53 45	»	»	»	»
180	200 »	130	200 »	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»
1000	a	1000	a	»	»	»	»
1000	a	800	a	1150	a	1100	a

a. NOTA. Le prix moyen des quais pavés ou dallés est de 8 fr. par mètre.

DÉPENSE

ET DURÉE DE LA CONSTRUCTION DE QUELQUES TUNNELS. (EXTRAIT DE

NOMS DES TUNNELS.	LOCALITÉS.	DATES de l'ouverture des travaux.	DURÉE de l'exécution.	LONGUEUR totale.
			ans. m.	m
Terre-Noire.	R. Lyon à Saint-Étienne..	1826	3	1500
Cumptieh	R. Louvain.	1835	2	925
Braine-le-Comte.	R. Belge.	»	»	641
Boratte.	R. Rhenan en Belgique. . .	»	»	»
Kilsby.	R. Londres à Birmingham.	1834	4	2204
Bleekingley.	R. Londres à Douvres. . . .	1840	2	1210
Saltwood.	*Id.*	1842		872
White-Hall.	R. Exeter.	»	»	»
Great-Western.	R. Great-Western	»	»	»
Batignolles.	R. Saint-Germain.	1837	1,6	333
Montretout.	R. Versailles.	1838	1,1	163
Saint-Cloud.	*Id.*	1837	1,3	504
Dix-huit-Tunnels.	R. Liége à Aix-la Chapelle.	»	»	»
Rolleboise.	R. Rouen.	1841	2	2612
Roule.	*Id.*	1841	1,8	1720
Venables.	*Id.*	1841	1,8	265
Tourville.	*Id.*	1841	1,6	465
Sainte-Catherine.	R. de Havre.	1844	»	105
Rue Percée.	*Id.*	»	»	80
Boulingrin.	*Id.*	»	»	1460
Cimetière-Saint-Maur. . .	*Id.*	»	»	1134
Mont Riboudet.	*Id.*	»	»	360
Pissy-Poville.	*Id.*	»	»	22 0
Pissy-Poville.	*Id.*	»	»	200
Le Banage.	*Id.*	»	»	160

APPROXIMATIVE

L'OUVRAGE DE M. TONY FONTENAY, — *Construction des tunnels.*)

PROFONDEUR maxima des puits.	DÉPENSE approximative par mètre.	NATURE du TERRAIN.	OBSERVATIONS.
m.	fr.		
84	799	Schistes et grès houillers.	
29	850	Sable boulant et argile, eau.	Ce tunnel s'est écroulé le 21 janvier 1845, sur 30ᵐ de longueur, à 80ᵐ de son origine.
»	1200	. . . .	Construit dans un sol difficile et revêtu de maçonnerie de brique, même au radier.
»	1700		
5)	3410	Terre, sable, beaucoup d'eau.	
28	1992	Argile bleue wealdienne, très-dure, sable avec beaucoup d'eau.	Le radier est revêtu en maçonnerie; ce tunnel a été construit à l'aide de 12 puits.
29	3664	Sable vert, beaucoup d'eau.	*Id.*
»	1451	. . . .	La largeur de chacun de ces tunnels est comprise entre 6 et 8 mètres.
»	2709	. . . .	
18	2380	Gypse, sable marne, sans eau.	
10	2071	Marne, grès, sable boulant, peu d'eau.	
»	2180	Marne verte, gypse, eau.	Revêtus de une à quatre épaisseurs de briques.
»	1250	. . . .	
87	1105	Craie dure et silex, peu d'eau.	
55	1105	Craie dure et silex, peu d'eau.	
30	1105	Peu d'eau, craie, argile et silex.	
32	1105	*Id.*	
131	1000 à 1200	Craie glauconnieuse mélangée de bancs silicieux et de rognons de silex, beaucoup d'eau.	En courbe de 750ᵐ de rayon sur la moitié de la longueur.
16	*Id.*	Même terrain, peu d'eau.	En courbe de 950ᵐ de rayon.
21	*Id.*	*Id.*	En courbe de 1600ᵐ de rayon sur 500ᵐ de long en rampe de 0ᵐ,00535.
27	*Id.*	*Id.*	En rampe de 0ᵐ,00535.
26	*Id.*	*Id.*	En courbe de 800ᵐ de rayon et en rampe de 0ᵐ,0053.
66	*Id.*	*Id.*	En rampe de 0ᵐ,005.
28	*Id.*	*Id.*	En courbe de 1200ᵐ de rayon et en rampe de 0ᵐ,005.
p. de puits.	*Id.*	*Id.*	En courbe de 1000ᵐ de rayon et en rayon de 0ᵐ,0055.

TABLEAU

DES DÉPENSES FAITES POUR L'ÉTABLISSEMENT

NOMS DES TUNNELS.	LONGUEUR.	TOTAL DES DÉPENSES		TERRAINS.				TERRASSE	
		POUR LE TUNNEL entier.	PAR MÈTRE courant.	DÉPENSE totale.	SURFACE par mètre courant.	PRIX par mètre superficiel.	PRIX MOYEN par mètre courant.	CUBE total.	DÉPENSE totale.
		fr. c.	fr. c.	fr. c.	m.	fr. c.	fr. c.	m.	fr. c.
Chalifert......	168 50	408,052 59	2,421 56	2,581 50	35	0 44	15 32	15,658 67	40,633 45
Armentières..	656 00	1,058,579 07	1,583 20	335 85	10	0 05	0 51	53,276 80	245,846 15
Nanteuil	944 00	1,557,554 87	1,649 95	1,382 00	11	0 15	1 46	72,551 20	274,600 00
Chézy - l'Abbaye.......	452 80	1,054,925 68	2,285 61	254 75	10	0 05	0 52	40,389 58	106 805 18
Pagny - sur - Meuse.....	571 66	737,002 88	1,289 25	845 46	5	0 30	1 48	56,684 24	288,281 59
Foug...	1,121 97	1,566,824 50	1,396 49	29,685 00	32	0 84	26 46	70,798 90	485,233 31
Arschwiller. .	2,678 26	2,584,742 00	965 08	»	»	»	»	153,116 00	1,003,052 00
Hoffmühl....	247 45	284,017 10	1,147 78	»	»	»	»	16,168 77	125,787 77
Lutzelbourg..	439 25	395,745 26	900 96	»	»	»	»	24,105 36	200,750 3
Bas-Rhin 1er).	399 70	282,660 12	707 18	»	»	»	»	17,904 45	140,141 68
Bas-Rhin 2e).	495 20	364,890 50	739 84	»	»	»	»	19,554 69	179,546 21
Haut Barr....	305 70	252,434 50	851 20	575.08	9	0 20	1 89	14 086 62	121,51 8 9
Rilly........	3,450 00	2,493,764 54	722 85	5,885 75	.....	.....	1 70	....	505,622 34
Place de l'Europe (2e)....	160 25	239,851 14	1,496 73	»	»	»	»	25,000 00	50,251 36
Montretout ...	168 00	347,915 00	2,070 91	»	»	»	»	environ 15,813 86	78,739 00
St-Cloud.....	504 00	1,098,720 00	2,180 00	»	»	»	»	environ 35,862 80	208,00 425
Belleville. ...	1,125 00	1,196,388 83	1,063 46	11,250 00	.....	.....	10 00	70,890 93	330,120 00
Charonne. ...	1,020 00	1,131,976 76	1,109 78	10,200 00	.....	.....	10 00	88,806 02	316,546 45

Voir un second tableau indiquant la nature des terrains, les conditions princi

INDICATIF

DE DIVERS SOUTERRAINS DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

MENTS.			MAÇONNERIE.					BOISAGE (Étaiements, blindages, cintres.)		DÉPENSES DIVERSES. Puits, égouts, épuisements, mater., éclairage, secours, trav. à la journée, indemn., chem. de service, etc.	
CUBE par mètre courant.	PRIX par mètre cube.	PRIX MOYEN par mètre courant.	CUBE total.	DÉPENSE totale.	CUBE par mètre courant.	PRIX par mètre cube.	PRIX MOYEN par mètre courant.	DÉPENSE totale.	PRIX MOYEN par mètre courant.	DÉPENSE totale.	PRIX MOYEN par mèt. cour.
m.	fr. c.	fr. c.	m.	fr. c.	m.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
92 81	2 60	241 15	7,261 43	163,212 27	43 09	22 48	968 62	161,535 99	958 67	40,069 18	257 80
81 21	4 05	329 06	18,050 40	490,626 82	27 52	27 18	747 90	222,154 50	358 61	109,655 75	167 12
76 86	3 78	290 89	25,764 00	677,800 00	27 29	26 31	718 01	298,700 00	316 42	305,052 87	325 15
89 20	2 64	255 88	18,246 61	497,278 32	40 30	27 25	109825	335,008 65	739 86	95,596 60	211 12
64 14	7 86	504 29	14,946 27	379,755 96	26 15	25 40	664 30	60,652 18	106 06	7,489 99	13 10
63 10	6 85	432 48	26,424 21	597,098 92	25 55	22 60	552 19	121,026 31	110 54	330,780 96	291 82
57 17	7 [illegible]	408 12	38,603 00	589,706 00	14 41	15 28	220 18	100,577 00	37 55	801,407 00	299 25
65 34	7 78	508 34	5,545 49	96,573 44	22 41	17 41	390 27	14,750 35	59 61	46,905 54	189 56
54 88	8 33	457 05	7,749 85	135,698 32	17 64	17 51	308 95	15,062 30	35 66	45,654 32	99 34
44 79	7 83	350 62	5,660 55	114,399 95	14 16	20 21	286 21	21,306 29	53 46	6,749 20	16 89
39 65	9 69	364 04	7,173 43	144,246 87	14 54	20 11	292 47	30,807 59	62 46	10,289 85	20 87
46 38	8 63	400 15	5,408 32	96613 57	17 81	17 80	318 12	17,900 05	58 94	15,828 95	52 12
......	.....	116 56	38,001 78	879,454 60	11 02	25 13	254 91	220,784 65	64 00	882,014 20	235 66
143 55	2 18	315 58	5,066 02	127,169 90	31 61	25 11	793 57	33,150 00	219 35	27,279 88	170 25
environ 82 25	5 70	468 68	5,713 80	143,288 75	34 01	25 08	852 90	64,424 41	383 48	64,462 84	363 85
environ 71 16	5 80	412 70	13,357 00	397,190 44	26 50	29 74	788 08	180,675 44	376 34	305,849 87	602 88
63 01	4 06	295 44	21,515 25	449,184 53	19 12	20 88	399 28	303,453 34	269 72	102,400 98	94 02
87 06	3.57	310 54	20,657 42	425,093 31	20 25	20 50	414 80	294,600 75	288 82	87,536 25	85 82

pales d'exécution, et les observations, à la suite, sur l'exécution du travail.

TABLEAU

DES PRINCIPALES CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE DIVERS

NOMS DES TUNNELS.	TERRAINS TRAVERSÉS	LONGUEUR entre LES TÊTES
		m.
Chalifert	Marnes verdâtres légèrement aquifères s'éventant facilement et tombant par masses, reposant, vers la hauteur des naissances de la voûte, sur un banc de grès de 0m50 d'épaisseur; sable à la partie inférieure.	168 50
Armentières	Calcaire compacte, mélangé de marne et de sable, recouvert par une marne mêlée de couches de calcaire, de silex, de grès; glaise dans la voûte vers la tête Strasbourg.	656 00
Nanteuil	Marne compacte, exploitable à la poudre, mais augmentant facilement de volume au contact de l'air; couches de grès et de calcaire.	944 00
Chézy-l'Abbaye	Un quart de la longueur du tunnel est entièrement dans l'argile plastique, et le reste presque complétement dans le sable fin; le sommet de la voûte est partout dans l'argile et un peu au-dessous d'une masse de sable.	452 80
Pagny-sur-Meuse	Calcaire marneux.	571 66
Foug	Marne oxfordienne homogène et compacte, pouvant s'exploiter à la poudre, et s'exfoliant à l'air.	1,121 97
Arschwiller	Roc vif de grès bigarré; minime quantité de terre sablonneuse.	2,678 26
Heffmühl	Grès vosgien divisé en gros blocs par de nombreuses fentes.	247 45
Lutzelbourg	Grès vosgien assez compacte.	459 25
Bas-Rhin (1er)	Grès vosgien désagrégé à la surface d'affleurement.	399 70
Bas-Rhin (2e)	*Idem.*	495 20
Haut-Barr	Grès bigarré à gros bancs.	305 70
Rilly	Craie compacte et craie fendillée, se taillant facilement; sables aquifères à quelques mètres au-dessus de l'extrados, près la tête Reims.	3,450 00
Place de l'Europe (2e)	Gypse, sable et marne.	160 25
Montretout	Marne et sable, carrières abandonnées sous le tunnel.	168 00
St-Cloud	Marne et gypse.	504 00
Belleville	Glaises et marnes mélangées, masses de gypse.	1,125 00
Charonne	Carrières éboulées, glaises, marnes, gypse; glaises mouillées, à la tête d'amont.	1,020 00

SOUTERRAINS DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS (ANNÉES 1837 A 1853).

LARGEUR entre LES PIÉDROITS (au niv. des rails)	HAUTEUR maxima DE L'INTRADOS (au-dessus des rails)	SECTION du VIDE DU TUNNEL (au-dessus des rails)	PUITS.		PARTIES revêtues EN MAÇONNERIE.	RADIER.	DURÉE de L'EXÉCUTION.
			NOMBRE.	PROFONDEUR ensemble.			
m.	m.	m. sup.		m.	m. linéaires.		
7 40	5 50	34 82	»	»	168 50 voûte et piédroits.	Néant.	18 mois.
7 40	5 50	34 82	1	?	656 00 id.	Id.	35 —
7 40	5 50	34 82	»	»	944 00 id.	Id.	41 —
7 40	5 50	34 82	»	»	452 80 id.	Id.	32 —
7 40	5 50	34 82	?	?	571 66 id.	Id.	35 —
7 40	5 50	34 82	2	66 17	1,121 97 id.	Id.	37 —
7 40	5 50	34 82 36 67 suivant les rayons de la voûte.	6 (85m,40 de souterrains faits à ciel ouvert.)	271 34	la voûte entière, et 5,678m,00 de piédr.	Id.	95 —
7 40	5 50	34 82	»	»	la voûte entière, et 875m,00 de piédr.	Id.	48 —
7 40	5 50	34 82	»	»	439 25 voûte et piédroits.	Id.	52 —
7 40	5 50	34 82	»	»	87 00 de voûte, et 16 00 de piédr. ensemble.	Id.	2 à 3 ans
7 40	5 50	35 82	»	»	98 00 de voûte, et 106 00 de piédr. ensemble.	Id.	4 à 5 —
7 40	5 40	34 82	»	»	109 00 de voûte, et 41 00 de piédr. ensemble.	Id.	4 à 5 —
7 40	5 85	37 56	11 dont 2 abandonn. avant d'être achevés.	697 85	3,450 00 voûte et piédroits.	Id.	40 mois.
7 00 à 13 26	5 40 à 7 52	33 84 pour la plus pet. sect.	exécuté à ciel ouvert.		160 25 id.	Id.	9 —
7 00	6 00	38 21	3	27 00	168 00 id.	Id.	13 —
7 00	6 00	38 21	10	272 44	la voûte et les piédr. moins une surface de 850 mètres.	Id.	15 —
7 60	6 00	39 40	7	221 50	1,125 00 voûte et piédroits.	Id.	22 —
7 60	6 00	39 40 part. en souter.	7	environ. 170 00	1,020 00 id.	Dans la partie de 70m de long. faite après coup, la forme intérre du souterr. est un ovoïde entièrement revêtu de maçonnerie.	22 —
7 00	6 05	40 94 à ciel ouvert.	(70 mèt. courants de tunnel exécutés à ciel ouv.)				

SOUTERRAINS

PARTICULARITÉS D'EXÉCUTION.

CHALIFERT. — On a commencé par les piédroits; le déblai de l'emplacement de la voûte a été entrepris à la fois par le milieu et par les extrémités du tunnel, en sorte que l'on a toujours eu quatre points d'attaque sans puits.

Un éboulement est survenu dans la partie centrale par suite d'une interruption subite des travaux.

Les piédroits et la voûte sont enveloppés par un blocage en pierres sèches de 0m,90 d'épaisseur uniforme.

Aucun ouvrage d'assainissement contre les infiltrations n'a été nécessaire.

ARMENTIÈRES. — On a commencé par établir la voûte et terminé par les piédroits.

Un seul puits a été creusé pour activer le déblai.

Exécution en régie.

NANTEUIL. — Voûte construite avant les piédroits.

Un très-grand éboulement, occasionné par la présence d'une source, a tenu dix-neuf hommes enfermés pendant dix jours ; trois mineurs ont été surpris par un autre éboulement moins important.

Exécution en régie.

CHÉZY. — On a fait les piédroits, puis la voûte.

Fouille difficile; blindage exigeant de grandes précautions.

Plusieurs fois la couche d'argile formant ciel a été rompue, et les chantiers se sont trouvés envahis par des avalanches de boue liquide.

Les fondations, descendues sous l'argile, ont, en certains points, 4m,25 de profondeur.

PAGNY. — Les puits faits provisoirement et seulement pour des travaux d'essai n'ont pas servi pour l'exécution définitive : tous les déblais sont sortis par les deux têtes.

Les suintements n'ont pas été considérables pendant l'exécution de la voûte, et c'est seulement lors de la fondation des piédroits que les eaux sont arrivées avec abondance.

FOUG. — La voûte a été faite d'abord, les piédroits ensuite.

La veine d'eau a été faible dans les puits, et n'a exigé qu'une dépense peu considérable; mais on a rencontré dans la galerie d'entrée les sources qui faisaient tourner un moulin du voisinage.

Les travaux ont été exécutés à l'entreprise moyennant un forfait par mètre courant de tunnel, avec augmentation et diminution de prix déterminées à l'avance pour les augmentations ou réductions d'épaisseur qui pourraient être apportées aux maçonneries, pour construction de chape, etc. Ce marché s'est trouvé généralement favorable à l'entrepreneur.

Arschwiller. — Le tunnel du chemin de fer est contigu au tunnel du canal de la Marne au Rhin; il passe sous ce canal, après s'en être tenu à une distance de 14 à 15 mètres, mesurée d'axe en axe, dans la partie souterraine.

Les puits et la galerie centrale du tunnel du canal ont été utilisés pour les travaux du tunnel du chemin de fer, dont on a atteint l'emplacement par quatorze galeries transversales.

Ventilation par des appareils à force centrifuge.

La voûte a été construite d'abord; l'intrados est en portions d'arc de cercles, combinées de manière à laisser la plus grande hauteur possible aux piédroits dans le roc naturel.

Les travaux ont été exécutés entièrement en régie.

Hoffmuhl. — Axe en courbe de 800 mètres de rayon.

Ouvert dans un promontoire de grès disloqué par une foule de ruptures, ce tunnel a exigé de grandes précautions pour prévenir les éboulements.

Lutzelbourg. — Moitié de la longueur de ce tunnel est en courbe de 800 mètres de rayon.

Terrain moins disloqué que dans le tunnel précédent.

1er du Bas-Rhin. — Partie de l'axe est en courbe de 800 mètres de rayon. Voûte faite avant les piédroits.

2e du Bas-Rhin. — On a commencé par la voûte.

Haut-Barr. — On a commencé par la voûte.

Billy. — Travaux préparatoires faits en régie : chemins de service sur plus de 7 kilomètres de développement; puits; galerie d'écoulement et d'alignement sur toute la longueur du tunnel.

A la suite, adjudication des travaux en deux lots.

Les boisages et les maçonneries ont dû être plus considérables dans la craie fendillée que dans la craie compacte.

Chaque puits se composait de deux compartiments ayant $2^m \times 2^m$ l'un; dans les sables aquifères, cuvelage en fonte.

Les eaux du tunnel et des puits ont été évacuées par la galerie d'écoulement sans épuisements.

Les piédroits ont été faits après la voûte.

2e de la place de l'Europe. — Les moindres dimensions de largeur, de hauteur, et par conséquent de vide, s'appliquent à une longueur de $113^m,91$; le surplus est composé de trois voûtes de dimensions croissantes, placées bout à bout. — Exécution à ciel ouvert.

Montretout. — Axe en courbe de 800 mètres de rayon.

Consolidation de galeries d'anciennes carrières affaissées sous les piédroits.

Mauvaise disposition des puits placés sur l'axe même du tunnel.

Maçonnerie maigre de moellons pour le remplissage des vides causés par des éboulements de sable vers les reins de la voûte.

Voûte exécutée avant les piédroits.

Saint-Cloud. — Sources considérables dans un puits seulement.

Piédroits construits après la voûte.

Belleville. — Les puits ont été abandonnés aussitôt après le percement de la petite galerie sur toute sa longueur.

On a pu faire écouler sans épuisements les eaux de sources, en les dirigeant vers des cavités ou des fentes de la masse gypseuse.

Charonne. — Traversée difficile d'anciens cavages de carrières abandonnées (plus ou moins complétement remblayées), sur 100 mètres de longueur; nombreux éboulements, entonnoirs à la surface du sol.

Les eaux données par les éboulements ont été perdues en partie dans la galerie; des épuisements ont été faits dans les cavages supérieurs pour empêcher l'afflux de l'eau.

Des éboulements très-importants étant survenus dans les glaises mouillées de la tête d'amont, six mois après la mise en exploitation du chemin de fer, le tunnel a dû être prolongé de 70 mètres à ciel ouvert, sans modifier la marche des trains de marchandises; cette seconde partie a coûté 1/3 en plus (par mètre courant) que la première partie du tunnel.

PRIX MOYENS APPROXIMATIFS

DES DIFFÉRENTS MATÉRIAUX ET MAIN-D'ŒUVRE APPLICABLES AUX TRAVAUX D'ART DES CHEMINS SUISSES[1].

NATURE D'UNITÉS.	PRIX.
	fr. cent.
Maçonnerie de pierre de taille pour couronnement et parapets, de.	60 » à 75 »
Maçonnerie de fondations.	13 »
— de moellons à 1 parement.	17 »
— — à 2 parements..	31 »
— — pour voûte de 0m,60 de queue. . .	35 »
— de béton.	18 50
— de libage.	45 »
Mètre sup. de taille de parements vus..	2 » à 3 »
Mètre cube de bois de chêne équarri, en place.	74 »
— — — pour madriers..	67 »
— — de sapin équarri.	43 »
— — — pour madriers..	37 »
Fonte, pour poutres, plaques, tuyaux, les 100 kil.	40 »
Fer forgé et laminé..	70 » à 88 »
Journée de terrassier..	1 60 à 2 »
— maçon.	2 » à 3 »
— charpentier.	2 » à 3 50
— mineur.	2 50 à 4 »

Le prix du levage et des échafaudages pour les travaux a été de 7,000 fr. pour les ponts nos 1 et 2 du tableau; de 3,500 fr. pour le no 8; 9,000 fr. pour le no 9; 3,500 fr. pour le no 10; 80,000 fr. pour le no 11; 9,000 fr. pour le no 12. — Le no 13 a été exécuté en régie; le prix du fer a été de 73 fr. 50 c. les 100 kil. — Les nos 4, 5, 6 et 7 ont coûté 68 fr. 50 c., 73 fr., 79 fr. 50 c. et 79 fr. 50 c. pour prix moyen d'exécution du tablier.

Le pesage des plaques de support sur la pile a été fait aux frais de l'administration.

La fourniture et la pose du platelage et des traverses et longuerines (bois aussi en général) également aux frais de l'administration.

La fourniture de gros fer pour chaînes, tirants, etc., a été faite par l'entrepreneur; celle des rails pour voies provisoires par l'administration.

[1] Voir, derrière, le tableau.

TABLEAU DES DIMENSIONS

POUR LA CONSTRUCTION DES PONTS ET PASSAGES DE

LOCALITÉS.	SYSTÈME des PONTS.	INGÉNIEURS.	OUVERTURES.	TRAVÉES.	HAUTEUR DES RAILS au-dessus des eaux moyennes.	POIDS DU TABLIER EN		
						Fonte.	Fer.	Ensemble.
Chemie central, ligne de Bâle à Olten, pont sur la Birs, près Bâle.	Pont en treillage, voie en milieu des poutres.	J. Mérian.	76,80	24,00	10,80	kil. 26,100	kil. 98,500	124,600
Sur la Frenke, à Liestal	*Idem.*	Le même.	54,21	16,80	15,00	14,300	61,500	75,850
Viaduc de la vallée de Rümlingen	Pont en pierre, arc plein cintre, rampe de 1m,48, et courbe de 780m de rayon.	W. Pressel.	127,45	13,50	21,60	»	»	»
Sur l'Aare, à Olten.	Pont en tôle, en pente de 1m,36.	Le même.	103,50	31,50	»	23,000	389,000	2 voies. 412,000
Chemin d'Olten-Berne, sur la Wigger, à Aarbourg	Treillage, voie entre deux poutres avec deux ouvertures.	Le même.	50,40	»	7,20	13,750	74,800	1 voie. 88,550
Sur la Pfaffneau, à Niederwyl.	*Idem*, avec une ouverture.	Le même.	24,00	»	9,00	7,350	388,000	46,150
Sur la Murg, à Murgthal.	*Idem.*	A. de Muralt.	24,00	»	11,40	7,350	388,000	46,150
Sur la grande Emme, à Burgdorf.	Treillage, deux voies, trois ouvertures.	M. Bury.	81,60	24,00 28,80	4,80	20,900	118,000	138,900
Sur la vallée de Worblaufen, à Berne.	*Idem.*	G. Graenicher.	81,60	24,00 28,80	30,00	20,900	118,200	139,100
Chemin da Hertzogenbachsee à Biel, sur la gr. Emme, à Derendengen.	Treillage, trois ouvertures, une simple voie.	O. Zschokke.	81,60	24,00 28,80	4,20	20,900	118,000	138,900
Sur l'Aare, à Berne.	Treill., rails en dessus, voie charretière en dessous, 3 ouv., 2 ponts en tôle à ses côtés pour voitures.	G. Graenicher.	161,40 18,00	50,00 57,20 9,00	43,50 5,10	65,000 6,750	892,250 42,600	957,250 49,350
Aare à Solothurn.	Treillage, trois ouvertures, une simple voie.	O. Zschokke.	93,60	28,80 21,20	9,60	25,000	140,500	165,500
Chemin Olten-Lucerne, petite Emme, à Emmenbrucka.	*Idem*, mais avec quatre ouvertures.	Le même.	112,50	24,00 28,80	5,10	28,000	161,300	189,300
Chemin de St-Gall, viaduc de la vallée de Goldach.	Pont de pierre, arc plein cintre, 8 ouv. en rampe de 1,80, et courbe avec 4 ouv. de 360m de rayon.	Le même.	77,10	13,50	26,40	»	»	»
Sur la Sitter, à St-Gall.	Pont en treillage avec trois piles en fonte.	A. Hartmann. C. Pestalozzi.	160,00	38,40 36,24	62,43	111,000	235,600	346,700
Sur la Thur, à Wyl.	*Idem.*	A. Hartmann, C. Schlichtigroll.	136,02	33,60 28,80	19,11	12,500	200,050	212,550
Sur la Glatt, à Flawyl.	*Idem*, avec deux piles en fonte.	Les mêmes.	100,62	36,00 28,80	30,33	9,800	201,050	210,850

[1] Voir à la page précédente les prix moyens approximatifs de la main-d'œuvre et des matériaux.

VALLÉES DES CHEMINS DE FER SUISSES (PAR ETZEL)[1].

FER. Par mètre courant.	SYSTÈME des FONDATIONS.	MATÉRIAUX.	FONDATIONS.	MAÇONNERIES.	TABLIER DE FER.	ENSEMBLE.	PAR MÈTRE courant.	TEMPS employé pour la construction.	OBSERVATIONS.
Met. cᵗ de voie. 1,571	Béton avec encaissement.	»	77,458	73,930	84,286	235,674	Tabl. fonte pour 1 v. 1,064 20	Juillet 1853 à oct. 1854.	Pont disposé pour 2 voies.
1,350	Culée comme ci dessus, pile, grillage.	»	1,813	37,568	53,648	93,028	*Idem.* 955 26	Janvier 1854 à oct. 1854.	*Idem.*
»	Double assise de pierre de t., sur fond solide, gravier mêlé d'arg	Calcaire jurassique muschelkalk.	»	»	»	343,331	2,693 33	Juillet 1855 à oct. 1856.	*Idem.*
2 voies. 3,980	Culées (béton avec encaissement), piles, encaissement et grillage.	»	69,896	231,104	299,000	600,000	Pour 2 voies. 2 888 88	Déc. 1854 à oct. 1856.	Le pont est disposé pour 2 voies. Le tablier en fer de ce pont a été exécuté en régie sous la direction de M. Riggenbach, à Olten.
1 voie. 1,670	Pierre de taille en roc, encaissemᵗ de béton.	»	20,150	39,820	64,896	124,840	Pour 1 v. 1,223 40	Juin 1855 à sept. 1856.	Même observation pour le tablier.
1,732	Béton avec gravier et béton avec encaissemᵗ.	»	8,100	23,230	36,760	65,090	1,266 70	Oct. 1855 à sept. 1856.	*Idem.*
1,732	Pierre de taille en roc.	»	3,146	36,189	33,760	73,095	1,266 70	Juin 1855 à sept. 1856.	*Idem.*
1,630	Culée, béton avec encaissemᵗ garni de pieux, pile, grillage.	»	73,325	36,685	102,000	212,010	1,210 83	Avril 1855 à mars 1856.	
1,650	Pierre de taille sur roc.	»	900	109,150	102,150	212,200	1,212 60	Mai 1855 à mars 1857.	»
1,630	Culée, encaissemᵗ de béton, piles, grillage.	»	78,852	32,390	102,000	213,242	1,210 85	Oct. 1855 à mars 1857.	Voie en dessous entre les poutres.
2 voies. 3,693 2 voies. 1,852	Culées, pierre de taille sur gravier argileux, piles sur rocher	»	22,400	228,000	853,200	Pour 2 voies. 1,103,600	Pour 2 v. 4,308 16 1,422 66	Commencé en mai 1856.	»
1,720	Culée, grillage, pile, encaissᵗ de béton sur grill.	»	156,520	75,840	121,500	353,860	1,262 46	Avril 1856 à mai 1857.	Voie au milieu des poutres.
1,640	Culée, encaissement de béton, piles, grillage.	»	81,300	43,000	139,200	263,500	1,205 83	En exécution.	*Idem.*
»	Pierre de taille sur rocher.	Moellons de grès.	»	»	»	286,581	2,785 00	Oct. 1854 à juin 1856.	Dépense d'échafaudage, 30,870 fr. garde-corps, 7,000 f.
2,125	Pierre de taille sur rocher.	»	34,369	1 49,81	i. les col. 725,460	909,640	T. fer. 1 v. 1,904 93	Oct. 1855 à mars 1856.	Hauteur des colonnes, 47,18.
1,526	Pierre de taille sur rocher, en gravier solide.	»	28,898	85 537	*Idem.* 294 504	408,939	*Idem.* 1,363 13	Août 1854 à oct. 1855.	Hauteur des colonnes, 14,67.
2,020	Pierre de taille sur rocher.	»	14,775	52,177	275,869	342,821	*Idem.* 1,542 40	Oct. 1855 à janv. 1856.	Hauteur des colonnes, 23,64.

TABLEAU

DU PRIX DE REVIENT DES VIADUCS

NOMS des VIADUCS.	DÉPENSE TOTALE.	PRIX DE REVIENT par MÈT. SUPERFICIEL (surface vue, vides et pleins).		PRIX du MÈTRE CUBE (en œuvre).		NATURE DES MATÉRIAUX.	RAPPORT DU CUBE moellons, meulières ou briques AU CUBE DE LA PIERRE DE Tᴱ.	PRIX de LA JOURNÉE.			
		FONDATIONS comprises.	FONDATIONS non comprises.	DE MEULIÈRE moellons OU BRIQUES.	DE PIERRE de taille.			MAÇON.	CHARPENTIER.	MANŒUVRE.	CHEVAL y compris le cond.r
		fr.	fr.	fr.	fr.						
Nogent-s.-Marne.	2,347,378 29	178 95	142 00	» » 54 60 41 60 21 35	113 20 81 75 » » »	Pierre de taille d'Euville. Id. de St-Di-mer. Meulière de parement. Id. de remplissage. Moellon de remplissage.	5 16	4 20	5 50	3 25	7 75
Pont de Nogent[1].	3,019,868 76	480 90	291 65	»	»	»	5 68	»	»	»	»
Viaducs et pont réunis[2]........	5,367,446 65	276 75	190 45	»	»	»	5 35	»	»	»	»
La Voulzie......	2,396,400 00	255 95	130 00	36 16	109 90	Pierre de taille. Moellons.	6 68	4 20	5 50	3 25	8 »
Chaumont[3].....	5,691,587 22	259 00	256 00	76 00	187 00	Id.	17 00	8 09	10 59	6 26	15 48
Du Sâolon[4].....	807,154 00	160 78	110 05	» 35 13 62 18 48 07	72 37 » » »	Pierre de taille. Moellons. Libages. Remplissages	6 73	4 50	5 50	3 25	»
Des Jours........	365,222 00	150 67	108 40	»	»	Id.	6 82	»	»	»	»
De Hortes........	618,285 00	113 42	78 19[5]	»	»	Id.	7 46	»	»	»	»
De l'Amance.....	226,600 00	307 46	124 76	»	»	Id.	7 97	»	»	»	»
De la Largue[6]...	1,508,000 00	177 10	130 47	32 73	76 80	Pierre de taille. Moellons. Briques.	12 707	5 »	5 50	2 50	8 »
Du Rosbachel[6]..	1,160,000 00	132 44	148 50	37 16	78 10	Id.	12 260	5 »	5 50	2 50	8 »
De Saint-Maurice (Vincennes).....	571,720 00	127 50	114 10	» 65 40 35 90 15 30	130 35 » » »	Pierre d'Euville. Meulière piquée. Moellon piq. Id. de remplissage.	8 317	4 50	5 50	3 15	8 »

(a) Au-dessus de l'étiage de la Marne.

Voir, dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, les détails de ces viaducs.

INDICATIF

CONSTRUITS SUR LES CHEMINS DE L'EST.

LONGUEUR.	FORME DES ARCHES.	NOMBRE D'ARCHES.	OUVERTURE DES ARCHES.	HAUTEUR MOYENNE (vue).	HAUTEUR MAXIMA (vue).	ÉPAISSEUR MOYENNE des piles.	RAPPORT DU PLEIN AU VIDE au-dessus du sol.	DURÉE DE L'EXÉCUTION	NOMS des INGÉNIEURS.	OBSERVATIONS.
								mois.	Vuigner, ing. en chef pour tous les viaducs, excepté celui de Chaumont.	[1] Les prix des matériaux et des journées sont les mêmes qu'au viaduc.
07 375	Pl. cintre.	30	15 00	21 961	29 00[a]	3 00 b 4 00 c	0 62	30		[2] Même observation.
50 50	Id.	4	50 00	29 00	29 00	6 00 b 9 25 c	0 82	30	C. Meygret, ing. principal. Pluyette, ing. ordinaire.	[3] Les prix de 76 fr. et 107 fr. comprennent la taille des parements vus. Le prix de 76 fr. est le prix moyen de toutes les maçonneries de parement et de remplissage différentes de la maçonnerie de pierre de taille. Le prix élevé du viaduc de Chaumont tient à la grande hauteur de cet ouvrage et à l'excessive rapidité de l'exécution, rapidité qui a donné lieu à un accroissement considérable de la main-d'œuvre, et à beaucoup de travaux de nuit.
27 875	Id.	30 et 4	15 00 et 50 00	25 45	29 00	3 00 b 4 00 c 6 00 b 9 25 c	0 68	30		
87	Id.	42	9 »	19 18	20 13	1 60 b 2 60 c	0 62	20	C. Méygrot, ing. principal. Siben, ing. ordin.	Le prix du moellon piqué, et surtout celui de la pierre de taille, sont énormes. Cela tient en même temps au prix de la main-d'œuvre, et aux petites dimensions des matériaux, ce qui a nécessité des frais exceptionnels pour la taille. Ce prix élevé est jusqu'à un certain point compensé par le rapport remarquablement faible du plein au vide.
00 00	Id.	51	10 00	37 00	50 00	2 05 b 4 05 c	0 30	13	Zeiller, ing. en ch. Decomble, ing. ordinaire.	
20 00	Pl. cintre.	15	10 00	22 81	28 45	2 20 b 3 20 c	0 65	19		
56 00	Pl. cintre.	8	11 00	17 82	21 31	2 20 b »	0 70	18	Larivière, ingén. principal. Masson, ing. ordinaire.	[4] Les prix de main-d'œuvre, de matériaux, sont les mêmes pour les quatre viaducs.
50 00	Id.	12	15 00	17 21	19 64	2 33 b 4 05 c	0 71	17		[5] L'exiguïté relative des prix moyens obtenus pour le viaduc de Hartes tient particulièrement à la faible hauteur des massifs engagés dans le sol. Cette hauteur ne dépasse pas en moyenne 2m,70, quand elle est, dans les ouvrages précédents, de 5m,30 et 6m,80.
35 00	Id.	4	7 00	11 27	14 36	1 875	1 27	11		
05 55	Id.	43	42 de 8 60 1 de 25 00	17 27	25 70	1 86 b 4 50 a	1 981[7]	21	Fleur-Saint-Denis, ing. principal. Daigremont, ing. ordinaire.	[6] Non compris le parapet. [7] Le vide est plus grand que le plein.
00 65	Id.	35	8 60	16 32	18 44	1 81 b 4 16 c	1 771	18		
41 95	Id.	36	7 90	13 60	14 20	1 60	0 47	12	Bassompierre, ing. principal. Sappel, ing. ordinaire.	[8] Le garde-corps n'est pas compris dans la surface ni dans les prix moyens ; il coûte environ 12,500 fr. pour le viaduc de la Largue, et 10,000 fr. pour celui de Rosbachel.

(b) Piles simples. (c) Piles culées.

CONDITIONS

D'ÉTABLISSEMENT ET PRIX DE REVIENT DE DIFFÉRENTS PONTS CONSTRUITS SUR LES CHEMINS DE FER WURTEMBERGEOIS.

DÉSIGNATION des PONTS.	SYSTÈMES.	OUVERTURE D'UNE TRAVÉE.	DIMENSIONS des POUTRES EN TÔLE ou en treillis.		POIDS DES MATÉRIAUX employés.		PRIX DE REVIENT					
			LONGUEUR.	HAUTEUR.	FER FORGÉ ou laminé.	FONTE.	DU FER forgé ou laminé.	de la FONTE.	de la CHARPENTE.	DU MASTIC et de la couleur.	TOTAL de la superstructure.	PAR MÈTRE courant d'ouverture.
		mètres.	mètres.	mètres.	kilog.	kilog.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr. c.
Pont sur la Schussen, près Weissenau...	Tôle, système tubulaire (de Fairbairn).	25 50	25 78	1 78	42,750	1,650	32,627	630	873	1,599	35,529	1,511 45
Pont sur l'Aach, près Niederbiegen.....	En treillis.	17 88	21 48	1 83	26,300	3,780	20,072	1,442	918	1,123	23,555	1,317 39
Pont sur la Schussen, près Aulendorf....	En treillis.	16 04	17 56	1 65	20,950	950	15,987	563	617	1,152	18,119	1,129 61
Pont sur le Bieberbach, près Nordheim...........	Tôle.	9 64	11 17	0 97	10,330	350	7,900	134	362	275	8,671	899 48
Pont sur le Eisenfurterbach, près Aulendorf..........	Tôle.	8 45	9 31	1 52	5,000	1,890	3,816	721	138	244	4,919	582 13
Pont à cinq travées, sur le Neckar, près Heilbronn........	Tôle.	7 16	8 31	0 72	6,650	470	5,075	180	182	191	5,628	786 01
Pont de décharge, près Ebach, sur le terrain submersible du Danube....	Tôle.	6 30	7 45	0 65	4,637	1,567	3,540	596	125	148	4,409	699 84

NOTES

RELATIVES AUX FONDATIONS DE PILES EN RIVIÈRES A L'AIDE D'APPAREILS A AIR COMPRIMÉ.

Application au pont de Mâcon.

	Quantités.	Prix du mètre.	Prix total.
Hauteur au-dessus de l'étiage. .	10m	1,611 fr. 50 c.	16,115 fr. » c.
Plus-value pour le béton avec ciment.			509 40
Partie cylindro-conique pour raccommodement.	1m	1,023 20	1,023 20
Partie supérieure.	7m	934 »	6,538 »
Ensemble.			24,185 fr. 60 c.
Somme complémentaire.			814 40
TOTAL.			25,000 fr. » c.

Pour une pile, trois colonnes à 25,000 fr. l'une.	75,000 fr. » c.
Plus pour la colonne d'amont (8,00) × (361 fr.) 2,888 fr., soit.	3,000 »
TOTAL.	78,000 fr. » c.
Pour les quatre piles (78,000 × 4).	312,000 »
Savoir : Fontes, 560,000 kilog. à 0,38 cent.	212,800 fr. » c.
Béton. 1,331,28.	41,222 40
Enfoncement des tubes, 120 à 400 fr. . . .	48,000 »
	302,022 fr. 40 c.
Somme complémentaire, 814 fr. 40 c. × 12.	9,772 80
Pour concordance.	204 80
TOTAL PAREIL.	312,000 fr. » c.
La dépense réelle a été, y compris la réunion des tubes, de.	350,000 fr. » c.
Savoir : Fontes, 587,000 kilog. à 0,38 cent.	223,060 »
Boulons, 6,500 kilog. à 0,85 cent.	5,525 »
Entretoises, 20,000 kilog. à 0,85 cent. . .	17,000 »
Ensemble.	245,585 fr. » c.
Béton, enfoncement des tubes et divers.	104,415 »
TOTAL.	350,000 fr. » c.

RÉCAPITULATION PAR NATURE D'OUVRAGES.

1° *Fontes.*

Pour un tube :

Poids, 2,630 k. (10^{m}), 26,300 k. Dépenses, 999,40 × 10. .	9,994 fr.	» c.
2,380.	904	40
15,400.	5,852	»
44,080 k.	16,750 fr.	40 c.

Pour une pile :

44,080 k. × 3 = 132,240 k.	50,251	20
Plus pour tube d'amont :		
950 k. × 8 = 7,600.	2,888	»
139,840 k., soit 140,000 k.	53,139	20
Et pour quatre piles (140,000 × 4) 560,000 k.	212,800 fr.	» c.

2° *Béton.*

Béton pour tube, 7,07 × 10 = 70^{m},70 × 30 fr. = 212 fr. 10 c. × 10 =	2,121 fr.	» c.
Plus-value pour ciment.	509	40
Béton. 5^{m},94 × 20 fr.	118	80
— 4,90 × 7 = 34^{m},30 × 20 fr.	686	»
Total pour un tube. . . 110^{m},94.	3,435 fr.	20 c.

Pour une pile. . . .	110,94 × 3 = 332,82	3,435,20 × 3 =	10,305 fr. 60 c.
Et pour quatre piles.	332,82 × 4 = 1,331,28	10,305,60 × 4 =	41,222 40

DÉPENSE D'ENFONCEMENT.

Pour un tube, 10^{m} à 400 fr.	4,000 fr.	» c.
Pour une pile, 30^{m}.	12,000	»
Pour quatre piles, 120^{m}.	48,000	»
	64,000 fr.	» c.

MAISON DE GARDIEN

DE PASSAGE A NIVEAU, TYPE N° 1

AVANT MÉTRÉ.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES, PARTIES D'OUVRAGES ET INDICATION DE LEUR NATURE.	NOMBRE de pièces ou parties semblables.	DIMENSIONS réduites.		SURFACES		HAUTEUR ou ÉPAISSEUR.	CUBES		POIDS.
		Longueur pour chacune ou ensemble.	Largeur.	auxiliaires.	définitives.		auxiliaires.	définitifs.	
								m. »	
§ 1. *Terrassements.*									
Déblais en rigole pour fondation jetés sur berge et transportés à la brouette à un relai.									
Les murs en fondation. . .	1	27 34	0 80	»	»	0 32	6 999	7,359	»
	1	7 20	0 25	»	»	0 20	0 360		
La fouille du fournil. . . .	1	0 60	1 50	»	»	2 30		2,070	»
La fouille pour massifs. . .	1	1 75	0 50	»	»	0 40	0 350	0,870	»
	1	1 20	0 50	»	»	0 40	0 240		
	1	1 00	0 70	»	»	0 40	0 280		
Cube total des terrassements.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	10299	»
§ 2. *Maçonneries.*									
1° Maçonnerie de moellons bruts hourdée en mortier de chaux hydraulique.									
Les murs en fondation. . .	1	27 34	0 80	»	»	0 32	6 999	7,359	»
	1	7 20	0 25	»	»	0 20	0 360		
Les murs en élévation. . .	1	27 34	3 90	»	»	0 32	34120	36,856	»
	1	7 20	1 90	»	»	0 20	2 736		
Les pignons.	2	5 45	0 55	»	»	0 32	1 918	2,188	»
	2	1 50	0 45	»	»	0 20	0 270		
								46403	»
A déduire :									
Face latérale — baie. . . .	2	1 40	0 75	»	»	0 32	0 672	»	»
Face latérale — fausse baie	1	1 40	0 75	»	»	0 20	0 210	»	»
Face opposée — baies.	2	1 40	0 75	»	»	0 32	0 672	»	»
	1	1 60	1 00	»	»	0 20	0 320	»	»
	1	2 00	0 65	»	»	0 32	0 416	»	»
	1	0 70	0 55	»	»	0 20	0 077	»	»
	1	0 75	1 15	»	»	0 20	0 173	»	»
Face opposée — pignon. . . .	1	2 40	1 00	»	»	0 32	0 768	»	»
Face opposée — œil de bœuf. .	1	0 80	0 50	»	»	0 32	0 128	»	»
Face opposée — les encadrements des baies, ensemble. . . .		34 20	0 32	»	»	0 15	1 692	»	»
Total à déduire. . . .								5,128	»
Reste.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	41,275	»

Voir les dessins dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur.*]

DÉSIGNATION DES OUVRAGES, PARTIES D'OUVRAGES ET INDICATION DE LEUR NATURE.	NOMBRE de pièces ou parties semblables.	DIMENSIONS réduites. Longueur pour chacune ou ensemble.	Largeur.	SURFACES auxiliaires.	définitives.	HAUTEUR ou ÉPAISSEUR.	CUBES auxiliaires.	définitifs.	POIDS.
								mèt.	
Report.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	41,275	»
A ajouter :									
La construction du four évaluée.	»	»	»	»	»	»		1,000	»
Les massifs au-dessous des marches.	1	1,75	0,50	»	»	0,30	0,263	0,653	»
	1	1,20	0,50	»	»	0,30	0,180		
	1	1,00	0,70	»	»	0,30	0,210		
Cube total de maçonnerie de moellons et mortier hydraulique	»	»	»	»	»	»	»	42,928	»
2° Maçonnerie de pierre de taille de roche.									
Marche de la porte principale.	1	1,50	0,60	»	»	0,20	0,180	»	»
Les marches du fournil. . .	2	1,10	0,20	»	»	0,20	0,088	»	»
Trois autres marches. . . .	3	0,80	0,20	»	»	0,20	0,096	»	»
Seuil de l'entrée du four. .	1	0,70	0,20	»	»	0,15	0,021	»	»
Pierre d'évier.	1	1,00	0,60	»	»	0,15	0,090	»	»
Les encadrements au pourtour des baies, ensemble.	»	34,20	0,32	»	»	0,15	1,642	»	»
Cube total de maçonnerie de pierre de taille.	»	»	»	»	»	»	»	2,117	»
3° Taille de roche.									
Marche de la porte principale.	1	»	»	0,90	»	»	»	»	»
Parement de tête.	»	2,70	0,20	0,54	»	»	»	»	»
Marches du fournil.	2	1,10	0,20	0,44	»	»	»	»	»
Parement de tête du fournil.	»	»	»	0,44	»	»	»	»	»
Dessus de marche.	3	0,80	0,20	0,48	»	»	»	»	»
Parement de tête.	»	»	»	0,48	»	»	»	»	»
Pierre d'évier.	1	1,00	0,80	0,80	»	»	»	»	»
Les encadrements des baies, ensemble.	»	34,20	0,62	21,20	»	»	»	»	»
Surface totale de taille.	»	»	»	»	25,28	»	»	»	»
4° Maçonnerie de briques réfractaires de 0,11.									
L'intérieur de la voûte du four.	1	1,40	2,00	2,80	»	»	»	»	»
L'âtre de la cheminée. . .	1	1,50	0,75	1,13	»	»	»	»	»
Surface totale de maçonnerie de briques.	»	»	»	»	3,93	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES OUVRAGES, PARTIES D'OUVRAGES ET INDICATION DE LEUR NATURE.	NOMBRE de pièces ou parties semblables.	DIMENSIONS réduites.		SURFACES		HAUTEUR ou ÉPAISSEUR.	CUBES		POIDS.
		Longueur pour chacune ou ensemble.	Largeur.	auxiliaires.	définitives.		auxiliaires.	définitifs.	
5° Carrelage en carreaux neufs du pays.									
Surface correspondante aux plafonds.	»	8,06	4 81	33.77	38,77	»	»	»	»
6° Légers ouvrages en plâtre.									
Les cloisons de distribution en plâtras, hourdés en plâtre, lattés et ravalés des deux côtés de 0,10 d'épaisseur compris renformis. Ensemble..	»	8,80	2,64	23.23	»	»	»	»	»
Plus-value de 1/10e . . .	»	»	»	2,32	»	»	»	»	»
Total.	»	»	»	25,55	»	»	»	»	»
A déduire : 2 baies. . .	2	2,00	0,70	2,80	»	»	»	»	»
Reste.	»	»	»	»	22,75	»	»	»	»
Les enduits intérieurs. Ensemble.	»	25,74	2,64	67,95	»	»	»	»	»
Le surplus des enduits. . .	»	7,60	2,60	19,76	»	»	»	»	»
Total.	»	»	»	87,71	»	»	»	»	»
A déduire : la surface des baies, etc.	»	»	»	16,28	»	»	»	»	»
Reste.	»	»	»	71,43	»	»	»	»	»
Soit 71,43 à 1/4 de légers.	»	»	»	»	17,86	»	»	»	»
Un tuyau de cheminée. . .	1	4,00	1,00	»	4,00	»	»	»	»
Les tableaux des croisées compris feuillures et arêtes.	4	4,30	0,25	»	4,30	»	»	»	»
Les tableaux de l'œil-de-bœuf. Ensemble.	»	2,20	0,25	»	0,55	»	»	»	»
Les calfeutrements au pourtour des croisées et châssis. Ensemble.	»	2,10	0,05	»	1,01	»	»	»	»
20 trous de scellements de pattes évaluées chacune 0,05	»	»	»	»	1,00	»	»	»	»
Tableau de la fausse baie.	»	4,30	0,15	»	0,65	»	»	»	»
Ébrasement de la baie d'entrée sur le pignon. . . .	1	5,40	0,25	»	1,35	»	»	»	»
A reporter.					51,47				

DÉSIGNATION DES OUVRAGES, PARTIES D'OUVRAGES ET INDICATION DE LEUR NATURE.	NOMBRE de pièces ou parties semblables	DIMENSIONS réduites.		SURFACES		HAUTEUR ou ÉPAISSEUR	CUBES		POIDS.
		Longueur pour chacune ou ensemble.	Largeur.	auxiliaires.	définitives.		auxiliaires.	définitifs.	
Report					53,47				
Ébrasement de la baie sur le mur mitoyen.	1	4,65	0,25	»	1,16	»	»	»	»
Ébrasement de la baie sur le cellier.	1	4,20	0,20	»	0,84	»	»	»	»
Les calfeutrements au pourtour des baies et huisseries. Ensemble	30	19,45	0,05	»	0,97	»	»	»	»
20 trous et scellements de pattes évalués chacun 0,05	30	»	»	»	1,50	»	»	»	»
La hotte de cheminée en pigeonnage, manteau, scellement, etc., évalués.	»	»	»	»	3,00	»	»	»	»
Les tableaux au pourtour de la baie du four. . . .	1	3,40	0,25	»	0,85	»	»	»	»
Les plafonds lattés et ravalés. Ensemble.	1	8,06	4,81	38,77	»	»	»	»	»
Ci à 60 pour 100 de légers.	»	»	»	»	23,26	»	»	»	»
Le plafond rampant du cellier.	1	3,80	2,	7,6	»	»	»	»	»
Ci à 60 pour 100 de légers.	»	»	»	»	4,56	»	»	»	»
L'aire du grenier, même surface que les plafonds (38,77) évaluée à 58 pour 100 de légers. . . .	»	»	»	»	22,49	»	»	»	»
Les crépis au mur du grenier évalués aux 17/00 de légers.	»	25,38	1.10	27,92	4,75	»	»	»	»
Les enduits extérieurs et crépis gobelés. Ensemble.	»	31,70	3,90	123,63	»	»	»	»	»
Les pignons surface. Ensemble..	»	»	»	7,35	»	»	»	»	»
Ensemble..	»	»	»	130,98	»	»	»	»	»
A déduire :									
La surface des baies, comme pour les enduits intérieurs.	»	»	»	16,28	»	»	»	»	»
Reste.	»	»	»	114.70	57,35	»	»	»	»
Évalués à 1/2 légers. . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	»
6 trous et scellements de marches évalués à 0,25 de légers.	6	»	»	0,25	1,50	»	»	»	»
Fourniture, pose et scellement de 2 mitres en grès évalués chaque 1,50 . .	2	»	»	1,50	3,00	»	»	»	»
A reporter . . .					178,70				

DÉSIGNATION DES OUVRAGES, PARTIES D'OUVRAGES ET INDICATION DE LEUR NATURE.	NOMBRE de pièces ou parties semblables	DIMENSIONS réduites.		SURFACES		HAUTEUR OU ÉPAISSEUR.	CUBES		POIDS.
		Longueur pour chacune ou ensemble	Largeur.	auxiliaires.	définitives.		auxiliaires.	définitifs.	
Report					178,70				
10 trous et scellements de poteaux de remplissages et entretoises.	10	»	»	0,10	1,00	»	»	»	»
4 forts trous et scellement de blochets et décharges.	4	»	»	0,25	1,00	»	»	»	»
Surface totale de légers.	»	»	»	»	18070	»	»	»	»
§ 3. *Charpente.*									
1° Chêne brut.									
Linteaux de baies.	7	1,75	0,20	»	»	0,20		0,490	»
2° Sapin neuf brut, assemblé.									
Arbalétrier.	1	5,60	0,10	»	»	0,16	0,090	»	»
Entraits.	2	3,85	0,05	»	»	0,16	0,062	»	»
Poinçon.	1	1,15	0,14	»	»	0,14	0,023	»	»
Jambes de force.	2	1,50	0,10	»	»	0,12	0,036	»	»
Blochets.	4	1,00	0,12	»	»	0,05	0,024	»	»
Cours de pannes.	2	9.50	0,10	»	»	0,16	0,304	»	»
Faîtage.	1	9,50	0,14	»	»	0,20	0,266	»	»
Pannes à scellement.	4	0,75	0,10	»	»	0,20	0,060	»	»
Chevrons.	44	3,50	0,08	»	»	0,05	0,616	»	»
Solives de remplissage. . .	19	4,85	0,06	»	»	0,12	0,663	»	»
Cube total de charpente en sapin. . . .	»	»	»	»	»	»	»	2,144	
§ 4. *Couverture.*									
1° Couverture en tuiles neuves sur lattis neuf.									
Longs pans.	2	9,55	3,52	67,23	»	»	»	»	»
Appentis.	1	4,35	2,00	8,70	»	»	»	»	»
Surface totale.	»	»	»	»	76,93	»	»	»	»
2° Faîtages en faîtières neuves posées en plâtre.									
Ensemble.	»	9,55	»	»	»	»	»	»	»
3° Égouts.				»	»	»	»	»	»
Égouts de 2 tuiles.	»	41,85	»	»	»	»	»	»	»
A reporter	»		»	»	»		»	»	»

DÉSIGNATION DES OUVRAGES, PARTIES D'OUVRAGES ET INDICATION DE LEUR NATURE.	NOMBRE de pièces ou parties semblables.	DIMENSIONS réduites.		SURFACES		HAUTEUR ou ÉPAISSEUR.	CUBES		POIDS.
		Longueur pour chacune ou ensemble.	Largeur.	auxiliaires.	définitives.		auxiliaires.	définitifs.	
Report	»	»	»	»	»	»	»	»	»
4° Plâtre pour solins. . . .	»	3,00	»	»	»	»	»	»	»
§ 5. *Menuiserie.*									
Châssis de croisée en chêne à noix et gueule de loup, jet d'eau, pièce d'appui, châssis et dormant de 0,034 à grands carreaux :									
Les 4 croisées.	4	1,56	0,91	5,67	»	»	»	»	»
Porte vitrée.	1	2,20	1,00	2,20	»	»	»	»	»
Châssis œil-de-bœuf évalué.	»	»	»	0,70	»	»	»	»	»
Surface totale.	»	»	»	»	8,57	»	»	»	»
2° Menuiserie en sapin de 0,027. 2 parements, assemblée, rainée et collée.									
1 porte pleine.	1	1,60	1,00	1,60	»	»	»	»	»
Portes intérieures.	3	2,00	0,70	4,20	»	»	»	»	»
Volets 4 paires.	4	1,40	0,75	4,20	»	»	»	»	»
Volets de la porte d'entrée.	1	1,10	1,00	1,10	»	»	»	»	»
Surface totale.	»	»	»	»	11,10	»	»	»	»
3° Bâtis en sapin de 0,08 sur 0,8. 3 Parements feuillés.									
Montants de $2^m,15$.	6	12,90	»	»	»	»	»	»	»
Id. de $1^m,75$	2	3,50	»	»	»	»	»	»	»
Traverses de $0^m,85$. . . .	3	2,55	»	»	»	»	»	»	»
Id. de $1^m,00$.	1	1,00	»	»	»	»	»	»	»
Id. de $1^m,10$.	1	1,10	»	»	»	»	»	»	»
Longueur totale. . . .		21,05	»	»	»	»	»	»	»
Sapin de $0^m,10$ $0^m,18$ pour poteaux, écharpes, sablières hautes et basses et entretoises de remplissage :									
Longueur. Ensemble.	»	89,18	»	»	»	»	»	»	»
A reporter	»	»	»	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES OUVRAGES, PARTIES D'OUVRAGES ET INDICATION DE LEUR NATURE.	NOMBRE de pièces ou parties semblables.	DIMENSIONS réduites.		SURFACES		HAUTEUR ou ÉPAISSEUR.	CUBES		POIDS.
		Longueur pour chacune ou ensemble.	Largeur.	auxiliaires.	définitives.		auxiliaires.	définitifs.	
Report	»	»	»	»	»	»	»	»	»
§ 6. *Serrurerie.*									
Ferrure de 4 croisées :									
Équerres simples entaillées de 0m,16.	16	»	»	»	»	»	»	»	»
Fiches à bonlous de 0m,11.	6	»	»	»	»	»	»	»	»
Poignées à pattes de 0m,11.	4	»	»	»	»	»	»	»	»
Verrons demi-placard de 0m,33.	8	»	»	»	»	»	»	»	»
Ferrure de la porte d'entrée principale.	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Charnières en fouillures de 0m,11.	3	»	»	»	»	»	»	»	»
Serrure tour 1/2 à fouliot sûreté Bénarde de 0m,14.	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Pattes à scellement pour l'œil-de-bœuf.	4	»	»	»	»	»	»	»	»
Porte du cellier :									
Charnières en fenillures de 0m,11.	3	»	»	»	»	»	»	»	»
Serrure à pène dorment de 0m,14.	1	»	»	»	»	»	»	»	»
3 portes intérieures :									
Charnières en feuillures de 0m,11.	9	»	»	»	»	»	»	»	»
Serrure à pène dormant et 1/2 tour.	3	»	»	»	»	»	»	»	»
4 paires de volets :									
Paumelles à gonds de 0m,19.	16	»	»	»	»	»	»	»	»
Crochets.	4	»	»	»	»	»	»	»	»
Loqueteaux.	4	»	»	»	»	»	»	»	»
Poignées.	4	»	»	»	»	»	»	»	»
Volet de la porte d'entrée :									
Pannetons à agrafes. . . .	2	»	»	»	»	»	»	»	»
Contre-pennetons..	2	»	»	»	»	»	»	»	»
Boulons et clavettes.	2	»	»	»	»	»	»	»	»
Rosettes entaillées.	4	»	»	»	»	»	»	»	»
Poignées à olive.	2	»	»	»	»	»	»	»	»
Porte du four en tôle. . . .	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Rapointis et clous à bateaux.	»	»	»	»	»	»	»	»	13

DÉSIGNATION DES OUVRAGES; PARTIES D'OUVRAGES ET INDICATION DE LEUR NATURE.	NOMBRE de pièces ou parties semblables.	DIMENSIONS réduites.		SURFACES		HAUTEUR ou ÉPAISSEUR.	CUBES		POIDS.
		Longueur pour chacune ou ensemble.	Largeur.	auxiliaires.	définitives.		auxiliaires.	définitifs.	kil.
Report	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Pattes à scellement. . . .	40	»	»	»	»	»	»	»	»
Fonte pour plaque de contre-cœur	»	»	»	»	»	»	»	»	25
§ 7. *Peinture et vitrerie.*									
Peinture à l'huile, 3 couches rebouchée :									
Les 4 croisées (2 faces). .	1 × 2	»	»	1,55	12,40	»	»	»	»
Châssis de l'œil-de-bœuf évalué.	. . .	. . .	. . .	. . .	1,00	»	»	»	»
Porte vitrée (2 faces). . . .	1 × 2	2,20	1,00	»	4,40	»	»	»	»
Porte du cellier (*dito*). .	1 × 2	1,60	1,00	»	3,20	»	»	»	»
3 portes intérieures (*dito*). .	3 × 2	2,00	0,70	»	8,40	»	»	»	»
Les frises. Ensemble. . .	»	51,00	0,75	»	38,33	»	»	»	»
Surface totale de peinture à l'huile. . .	. . .	. . .	. . .		67,73	»	»	»	»
Peinture à la colle en blanc à 2 couches.									
Surface calculée. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	mètr. 36,00	»	»	»	»
Papier de tenture, compris bordure et collage :									
Surface calculée. . . .	»	»	»	»	80,00	»	»	»	»
Vitrerie en verre ordinaire. Les croisées, la porte vitrée et l'œil-de-bœuf :									
Surface calculée. . .	»	»	»	»	6,00	»	»	»	

MAISON DE GARDIEN

DE PASSAGE A NIVEAU, N° 1.

DÉTAIL ESTIMATIF.

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	NUMÉROS DES SOUS DÉTAILS.	QUANTITÉS.	PRIX DE L'UNITÉ.	DÉPENSES par ARTICLE.	DÉPENSES par OUVRAGE.
			fr. c.	fr. c.	fr. c.
UNE MAISON DE GARDIEN DE PASSAGE A NIVEAU.					
§ 1er. *Terrassements.*					
Mètres cubes de déblai en rigole jetés sur berge et roulés à la brouette à un relais, pour fondations	»	10$^{m^3}$,299	50	5 15	»
Total pour les terrassements.	»	»	»	»	5 15
§ 2. *Maçonneries.*					
Mètres cubes de maçonuerie de moellons, hourdée en mortier de chaux hydraulique de sable de rivière.	»	42$^{m^3}$,978	1380	593 10	»
Mètres cubes de maçonnerie de pierre de taille de roche. . . .	»	2$^{m^3}$,117	5520	116 86	»
Mètres superficiels de taille de roche ueuve.	»	25$^{m^2}$,28	460	116 29	»
Mètres superficiels de maçonnerie de briques réfractaires de 0^{m},11 d'épaisseur.	»	3$^{m^2}$,93	460	18 08	»
Mètres superficiels de carrelage en carreaux ueufs du pays. . .	»	38$^{m^2}$,77	210	81 42	»
Mètres superficiels de légers ouvrages eu plâtre.	»	180$^{m^2}$,70	325	587 28	»
Total pour les maçonneries.	»	»	»	»	1 513 03
§ 3. *Charpente.*					
Mètres cubes de chêne brut pour linteaux des baies.	»	0$^{m^3}$,490	7360	36 06	»
Mètres cubes de charpeute en sapiu ueuf assemblé.	»	2$^{m^3}$,144	5520	118 35	»
Total pour la charpente. . .	»	»	»	»	154 41
A reporter. . . .	»		»	»	1 672 5[illegible]

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	NUMÉROS DES SOUS-DÉTAILS.	QUANTITÉS	PRIX DE L'UNITÉ	DÉPENSES. par ARTICLE.	DÉPENSES. par OUVRAGE.
			fr. c.	fr. c.	fr. c.
Report	»	»	»	»	672 59
§ 4. *Couverture.*					
Mètres superficiels de couverture en tuiles neuves sur lattis neufs.	»	75^{m2},93	2 75	208 81	»
Mètres courants de faîtages en tuiles faîtières neuves posées en plâtre	»	9^{m},55	1 40	13 37	»
Mètres courants d'égouts de deux tuiles	»	41^{m},85	1 10	46 04	»
Mètres courants de solins en plâtre.	»	3^{m},00	0 60	1 80	»
Total pour la couverture .	»	»	»	»	270 02
§ 5. *Menuiserie.*					
Mètres superficiels de menuiserie pour châssis de croisées en chêne à noix et gueule de loup, jet d'eau et pièce d'appui, etc.	»	8^{m2}.57	8 50	72 85	»
Mètres superficiels de menuiserie en sapin de 0^{m},027, deux parements, rainée, collée et assemblée.	»	11^{m2},10	4 30	47 73	»
Mètres courants de bâtis en sapin de 0^{m},08/0^{m},08, à trois parements, avec feuillures.	»	21^{m},05	0 90	18 95	»
Mètres courants de poteaux, écharpes, sablières, entretoises, etc., en sapin de 0^{m},58/0^{m},50. . . .	»	35^{m},65	2 50	89 13	»
Total pour la menuiserie. .	»	»	»	»	228 66
§ 6. *Serrurerie.*					
Ferrure des quatre croisées :					
Équerres simples entaillées de 0^{m},16.	»	16. »	0 20	3 20	»
Fiches à boutons de 0^{m},11. . . .	»	16. »	0 45	7 20	»
Poignées à pattes de 0^{m},11. . . .	»	4. »	0 30	1 20	»
Verrous 1/2, placard de 0^{m},33. .	»	8. »	1 25	10 »	»
Porte d'entrée principale :					
Charnières en feuillure de 0^{m},11.	»	3. »	0 60	1 80	»
Serrure à tour 1/2 à fouillot, sûreté, benarde, de 0^{m},14. . . .	»	1. »	»	6 90	»
Pattes à scellement pour fixer l'œil de-bœuf.	»	4.	0 25	1 »	»
A reporter. .	»	»	»	31 30	2 171 27

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	NUMÉROS DES SOUS-DÉTAILS.	QUANTITÉS.	PRIX DE L'UNITÉ.	DÉPENSES par ARTICLE.	DÉPENSES par OUVRAGE.
			fr. c.	fr. c.	fr. c.
Report:	»	»	»	31 30	2 171 27
Porte du cellier :					
Charnières en feuillure de 0^m,11.	»	3. »	0 60	1 80	»
Serrure à pêne dormant de 0^m,14.	»	1. »	5 »	5 »	»
Trois portes intérieures :					
Charnières à feuillure de 0^m,11.	»	9. »	0 60	5 40	»
Serrure à pêne dormant de 1/2 tour.	»	3. »	5 50	16 50	»
Quatre paires de volets :					
Panmelles à gonds de 0^m,19.	»	16. »	0 95	15 20	»
Crochets.	»	4. »	0 30	1 20	»
Loqueteaux	»	4. »	1 30	5 20	»
Poignées.	»	4. »	0 35	1 40	»
Volet de la porte d'entrée :					
Pannetons à egrafe.	»	2. »	0 80	1 60	»
Contre-pannetons	»	2. »	0 60	1 20	»
Boulons et clavettes.	»	2. »	0 75	1 50	»
Rosettes entaillées.	»	4. »	0 20	0 80	»
Poignées à olives de 0^m,16.	»	2. »	0 80	1 60	»
La porte du four est évaluée.	»	»	»	3 70	»
Kilogrammes de rapointis de clous à bateau	»	13 k	0 35	4 55	»
Pattes à scellement de 0^m,11.	»	40. »	0 20	8 »	»
Kilogrammes de fonte pour plaque de contre-cœur	»	25 k	0 30	7 50	»
Total pour la serrurerie.	»	»	»	»	113 45
§ 7. *Peinture et Vitrerie.*					
Mètres superficiels de peinture à l'huile de trois couches, rebonchée	»	$67^{m.s}$,73	0 80	54 18	»
Mètres superficiels de peinture à la colle en blanc, deux couches	»	$36^{m.s}$,00	0 15	5 40	»
Mètres superficiels de papier de tenture, compris bordure et collage	»	$80^{m.s}$,00	0 25	20 »	»
Mètres superficiels de vitrerie en verre ordinaire.	»	$6^{m.s}$,00	4 15	24 90	»
Total pour la peinture, vitrerie, etc.	»	»	»	»	104 48
Total.	»	»	»	»	2 389 20
A valoir pour dépenses imprévues.	»	»	»	»	310 80
Total général.	»	»	»	»	2 700 00

BATIMENTS POUR RÉSERVOIR

DEVIS ESTIMATIF DES TRAVAUX A EXÉCUTER ET DES DÉPENSES A FAIRE POUR LA CONSTRUCTION D'UN BATIMENT POUR RÉSERVOIR.

NATURE DES TRAVAUX.	SURFACES.	CUBES.	DÉPENSES par ARTICLE.	DÉPENSES par OUVRAGE.
1° *Terrassements.*				
Déblais.				
Bâtiment.	49,82	»	»	»
Cheminée.	4,84	»	»	»
Surface totale.	54,66	81,99	»	»
Profondeur commune	1,50			
Lesquels 81m,99 cubes à 0 fr. 80 compris enlèvement vaudront . .	»	»	»	65,60
2° *Maçonnerie.*				
Fondations.				
Beton. Surface égale à celle des déblais.	54,66	27,33	»	»
Epaisseur commune	0,30			
Lesquels 27m,33 de beton à 20 fr. le mètre vaudront.	»	»	546,60	»
Mur et massif de cheminée jusqu'au niveau du sol, maçonnerie en moellons et mortier hydraulique et sable :				
Murs.	16,80	»	»	»
Cheminée.	3,24	»	»	»
Surface totale	20,04	20,04	»	»
Epaisseur commune	1,00			
A déduire pour vide et brique réfractaire.	»	0,50	»	»
Reste à compter	»	19,54	»	»
Lesquels 19m,54 de moellons hourdés en mortier de chaux hydraulique et sable à 18 fr. le mètre vaudront.	»	»	351,72	»
A reporter.			898,32	65,60

NATURE DES TRAVAUX.	SURFACES.	CUBES.	DÉPENSES par ARTICLE.	DÉPENSES par OUVRAGE.
Maçonnerie (suite).				
Report.	»	»	898,32	65,60
Pierre de roche pour soubassement, etc.	16,27			
Hauteur commune	0,60	9,166	»	»
Bandeau développé	8,31			
Epaisseur commune	0,25	2,080	»	»
Bandeau supérieur de la cheminée	»	0,586	»	»
Appuis	»	0,410	»	»
Tablette au pourtour de la cheminée	»	0,396	»	»
Cube total de la pierre de roche	»	12,638	»	»
Lesquels 12m,638 de pierre à 100 fr. le mètre vaudront	»	»	1,263,80	»
Taille de la pierre de roche :				
Soubassement intérieur et extérieur	30.90	»	»	»
Soubassement de la cheminée	4,81	»	»	»
Bandeau du bâtiment	5 74	»	»	»
Appuis	4,77	»	»	»
Bandeau inférieur de la cheminée	2,96	»	»	»
Bandeau supérieur de la cheminée	4,60	»	»	»
Tablette supérieure de la cheminée	3,23	»	»	»
Seuil	1.00	»	»	»
Surface	58.11	»	»	»
Lesquels 58m,11 de taille et ragréements à 6 fr. 50 vaudront	»	»	377,71	»
Plus-value pour évidements et déchets	»	»	100,00	»
Murs en élévation meulière ordinaire, hourdée en mortier de chaux et sable :				
Bâtiments, contre-forts et pieds-droits	7,36	»	»	»
Cheminée	1 93	»	»	»
	9,29			
Hauteur commune	1,00	9,29	»	»
Rechargement des bandeaux	»	1.40	»	»
Cube	»	10,69	»	»
A reporter.	»	»	2,639,83	65,60

NATURE DES TRAVAUX.	SURFACES.	CUBES.	DÉPENSES par ARTICLE.	DÉPENSES par OUVRAGE.
Maçonnerie (suite):				
Report.	»	»	2,639,83	65,60
Lesquels 10^m,79 de meulière à 19 fr. 50 le mètre vaudront. . .	»	»	208,45	»
Moellons durs hourdés en mortier hydraulique :				
Partie comprise entre le soubassement et la grande archivolte sans déduction pour compenser les cintres des archivoltes : demi-cercle de 2^m,15 de diamètre, surface	»	9,750	»	»
Six faces compris entre l'entablement, reliant la partie supérieure des contre-forts à l'intrados de la grande archivolte	»	17,418	»	»
Couronnement réunissant les contre-forts.	»	7,480	»	»
Total de la maçonnerie de moellon hourdée en mortier hydraulique	»	34,64	»	»
Lesquels 35^m,64 à 18 fr. vaudront.	»	»	623,52	»
Cheminée en briques de Bourgogne, revêtement intérieur en briques réfractaires jusqu'à 3^m,35 de hauteur :				
Brique ordinaire	»	8,74	»	»
Les 8^m,74 de briques ordinaires à 80 fr. le mètre vaudront.	»	»	699,20	»
Briques réfractaires.	»	2,52	»	»
Lesquels 2^m,52 de briques à 12 fr. le mètre vaudront	»	»	302,40	»
Enduits en mortier hydraulique à gros grain :				
Surface extérieure entre le soubassement et l'appui	10,57	»	»	»
Entre le bandeau et la partie supérieure des murs sans déduction de vides pour compensation des re-				
A reporter.	10,57	»	4,473,40	65,60

NATURE DES TRAVAUX.	SURFACES.	CUBES.	DÉPENSES par ARTICLE	DÉPENSES par OUVRAGE.
Maçonnerie **(suite).**				
Report.	10,57	»	4,473,40	65,60
traites et joints de briques tirés au crochet	72.00	»	»	»
Total	82,57	»	»	»
Lesquels 82^m,57 d'enduit à grograin, mortier hydraulique, à 1 fr. 50 vaudront	»	»	123,85	»
Enduits évalués en légers, et pour plafonds.	49,29	»	»	»
Lesquels 49^m,23 d'enduits en léger à 3 fr. le mètre vaudront.	»	»	147,69	
Total de la maçonnerie.	»	»	4,744,91	4,744,91
3e *Charpente.*				
Bois de Chêne.				
Charpente des planchers au-dessous des réservoirs				
2 semelles placées sur la maçonnerie.	»	0,720	»	»
14 solives	»	3,010	»	»
16 soliveaux	»	0.396	»	»
2 solives d'angle	»	0,896	»	»
1 linçoir	»	0,021	»	»
Entourage du réservoir et comble :				
4 cours de sablière ensemble cubant.	»	0,549	»	»
4 cours de traverses formant pannes et recevant les arbalétriers, ensemble cubant	»	0,678	»	»
4 cours de traverses recevant le pied des poteaux extérieurs à la hauteur de l'encorbellement, ensemble cubant.	»	0,678	»	»
10 poteaux soutenant le comble et s'engageant sur les semelles . . .	»	0,562	»	»
20 aisseliers	»	0.360	»	»
2 *dito* faîtage.	»	0.015	»	»
A reporter.	»	7,915	»	4.810.54

NATURE DES TRAVAUX.	SURFACES.	CUBES.	DÉPENSES par ARTICLE.	DÉPENSES par OUVRAGE.
Menuiserie (suite).				
Report.	»	»	31,50	6,851,23
1 dormant de 4m,50 courants à 1 fr. 25 vaudra.	»	»	5,62	»
5 croisées et impostes circulaires en chêne, châssis 0m,034, dormant 0m,041 petits carreaux, mesurant 5m,95 superficiels à 10 fr., vaudront.	»	»	59,60	»
Plancher sous les réservoirs en frise chêne	53,76	»	»	»
Mesurant 53m,76 superficiels de plancher à 7 fr. 50 vaudront. . .	»	»	403,20	»
Entourage du réservoir :				
54 poteaux en chêne, 118m,80 à 2 fr. le mètre courant.	»	»	237,60	»
54 traverses hautes, chêne, ensemble 29m,00 à 2 fr. le mètre courant. .	»	»	58,00	»
54 traverses basses développant ensemble 29m,00 à 1 fr. 70 l'un . .	»	»	49,30	»
Remplissage entre les poteaux, planches en sapin, moulures sur les arêtes	56.43	»	»	»
Mesurant 56m,43 superficiels à 4 fr. le mètre vaudront	»	»	225,72	»
Partie découpée cachant les abouts des solivaux de l'encorbellement :				
Ensemble 15m,60 à 5 fr. 80, compris découpures, vaudront. . . .	»	»	90,48	»
54 croix de Saint-André au-dessus, traverse haute des poteaux, chêne :				
Ensemble 75m,60 à 1 fr. 40 le mètre courant vaudront.	»	»	105,84	»
54 parties de tringles devant le vitrage :				
Ensemble 86m,40 de tringles à 0 fr. 40 l'un vaudront.	»	»	34,56	»
8 châssis en bois pour donner de l'air	»	»	8,00	»
54 consoles pour l'encorbellement : 15m,12 superficiels à 17 fr. le mètre vaudront.	»	»	258,85	»
A reporter.	»	»	1,567,87	6,851,23

NATURE DES TRAVAUX.	QUANTITÉS.	CUBES.	DÉPENSES par ARTICLE.	DÉPENSES par OUVRAGE.
Menuiserie (suite).				
Report.			1,567,87	6,851,23
Plus-value pour les 54 découpures à 0 fr. 50 l'une.	»	»	27,00	»
58 arcs-boutants en chêne sous l'égout du comble : 34m,80 à 2 fr. le mètre courant vaudront. . . .	»	»	69,60	»
Plus-value pour refeuillure et moulures des consoles.	»	»	25,00	»
Ensemble.	67,80	»	»	»
Lesquels 67m,80 de moulure à 2 fr. le mètre linéaire vaudront	»	»	135,60	»
Moulure au bas de l'encorbellement : Ensemble 31m,80 courant à 4 fr. 10 vaudront.	»	»	130,38	»
Total de la menuiserie	»	»	1,955,45	1,955,45
6° *Serrurerie.*				
Gros fer.				
4 chaînes et 8 ancres pesant	76,	»	»	»
Les 76 kil. de fer à 60 fr. les 100 kil. vaudront.	»	»	45,60	»
20 kil. boulons pour ferrures, moises, etc., à 1 fr.	»	»	20,00	»
25 kil. pointes pour fixer les chevrons, consoles, etc., à 1 fr. . . .	»	»	25,00	»
16 tire-fonds pour l'assemblage des soliveaux, pesant 8 kil. à 1 fr. 20.	»	»	9,60	»
La ferrure d'une porte : 8 pattes, 6 paumelles, 1 battant de loquet, 1 crémone.	»	»	64,00	»
La ferrure de 4 croisées carrées à l'intérieur et formant archivolte à l'extérieur ; 1 crémone :				
Total pour 1 fenêtre	9,50	»	»	»
Et pour les 4.	»	»	38,00	»
A reporter.	»	»	202,20	8,806,68

NATURE DES TRAVAUX.	QUANTITÉS.	CUBES.	DÉPENSES par ARTICLE.	DÉPENSES par OUVRAGE.
Serrurerie (suite).				
Report.	»	»	202,20	8,806,68
10 échelons pour monter au réservoir, pesant 40 kil. à 0 fr. 75 le kil., compris scellement	»	»	30,00	»
Agrafes pour la cheminée estimées.	»	»	76,06	»
Total de la serrurerie.	»	»	308,26	308,26
7° *Peinture.*				
Peinture à l'huile, 3 couches; la porte 2 faces compris le dormant.	»	5,44	»	»
Peinture de 4 croisées : même surface que la menuiserie	»	9,60	»	»
Les 4 faces extérieures du pourtour du réservoir compris épaisseur des poteaux, développant.	»	114,00	»	»
Consoles et encorbellement.	»	50,70	»	»
Soliveaux et dessous de la saillie. .	»	50,01	»	»
Abouts de chevrons.	»	10,80	»	»
Clochetons	»	4,00	»	»
Surface totale de la peinture	»	244,55	»	»
Lesquels 244m,55 superficiels de peinture à l'huile, 3 couches, compris le rebouchage, à 0 fr. 90 le mètre, vaudront	»	»	220,10	220,10
8° *Vitrerie.*				
4 croisées.	3,92	»	»	»
54 baies sous l'égout.	8,64	»	»	»
Surface totale.	12,56	»	»	»
Lesquels 12m,56 superficiels de vitrerie en verre blanc ordinaire, compris masticage à 5 fr. 50 le mètre, vaudront.	»	»	69,08	»
Total de la vitrerie.	»	»	69,08	69,08
Premier total.	»	»	»	9,404,12

RÉCAPITULATION

DU MONTANT DES DÉPENSES.

1° Terrassements	65 60
2° Maçonnerie	4 744 94
3° Charpente	1 356 44
4° Couverture	684 25
5° Menuiserie	1 955 45
6° Serrurerie	308 26
7° Peinture	220 10
8° Vitrerie	69 08
Total égal	9 404 12
Somme à valoir pour dépenses imprévues	595 88
	10 000 00

ÉTABLISSEMENT

de la ligne télégraphique.

PRIX DE REVIENT PAR KILOMÈTRE DE DOUBLE FIL.

(Fil omnibus et fil direct).

1° Poteaux.		
20 Poteaux en pin préparé par le procédé Boucherie à 7 fr.		140f »
2° Fil.		
2 Kilomètres de fil de fer galvanisé de 4 millimètres pesant 200 kil. à 75 les 100 kilog.		150 »
3° Porcelaines.		
38 Cloches de suspension à 0f 24.	9 12	
2 Supports de tendeurs à 1 30.	2 60	
		11 72
4° Appareils de suspension.		
28 Crochets galvanisés à 60 fr. le mille.	2 36	
2 Tendeurs id. à 5f 40.	10 80	
		13 16
5° Vis.		
76 Vis 24/70 tête ronde galvanisées à 5f 15 la grosse.	2 68	
4 Vis tête carrée pour tendeurs à 30f 60 le cent.	1 22	
		3 90
6° Pose.		
20 Poteaux à 1f 25.	25	
Pose de 2 kilomètres de fil simple.	10	
Scellement des crochets compris fourniture du soufre, 38 à 0,05.	1 90	
Somme à valoir.	4 32	
		41 22
Total.		360f »

TÉLÉGRAPHIE.

PRIX DES APPAREILS ET ACCESSOIRES.

1° Poste tête de ligne à une direction.

1	Manipulateur	75
1	Récepteur à lettres	120
1	Sonnerie	100
1	Boussole	10
1	Commutateur de pile	8
1	Paratonnerre	8
1	Pile de 28 éléments	50
1	Table en chêne, avec caisse à pile	100
	Montage du poste	45
	Total	526

2° Poste intermédiaire simple ou à deux directions.

1	Manipulateur	75
1	Récepteur à lettres	130
2	Sonneries	220
2	Boussoles	20
1	Commutateur de pile	8
2	Paratonnerres	16
1	Pile de 28 éléments	50
1	Table en chêne avec caisse à pile	100
	Montage du poste	45
	Total	654

3° Poste intermédiaire de bifurcation ou à trois directions.

1	Manipulateur	75
1	Récepteur à lettres	120
3	Sonneries	330
3	Boussoles	30
1	Commutateur de pile	8
3	Paratonnerres	24
1	Pile de 28 éléments	50
1	Table en chêne avec caisse à pile	100
	Montage du poste	45
	Total	782

Pour chaque direction en plus :

1	Sonnerie	100
1	Boussole	10
1	Paratonnerre	8
	Total	128

Au delà de quatre ou cinq directions on préfère établir des relais.



MÉTRÉ D'UN PONT

DE $15^m,20$ D'OUVERTURE EN ARC DE CERCLE AVEC MURS EN RETOUR (LIGNE D'ORLÉANS).

Longueur du pont entre les têtes. . . . . $L = 5^m,40$
Hauteur des piédroits. . . . . $P = 1^m,00$
Hauteur de la chaussée au-dessus des rails. . . . . . . $H = 6^m,62$

NUMÉROS DU MÉTRÉ.	DÉSIGNATION DES OUVRAGES PARTIES D'OUVRAGES et indication de leur nature.	NOMBRE DES PARTIES ou pièces semblables.	DIMENSIONS réduites.			SURFACES, CUBES ou poids.			OBSERVATIONS.
			LONGUEUR pour chacune ou ensemble.	LARGEUR.	HAUTEUR ou épaisseur.	AUXILIAIRES.	PARTIELS.	DÉFINITIFS.	
	§ 1er. — *Maçonneries.*								
1	Déblais pour fondations...	2	4 05	6 00	4 00	194 40	»	195 00	
2	Béton pour fondations....	»	»	»	»	»	»	»	
3	Maçonnerie de moellon ordinaire.								
	Massif général.								
	Piédroits..................	2	4 65	5 40	1 00	50 22			
	Des naissances sous la plinthe..................	2	24 50	5 40	4 31	570 21			
	Total..............			»	»	620 43	620 43		
	A déduire :								
	1° Le vide de la voûte....	»	»	5 40	32 44	173 56	329 69		
	2° Le cube de la chape..	»	25 50	7 50	0 40	19 13			
	3° Le cube des remblais..	»	»	»	»	137 00			
	Cube total.......			»	»	»	290 74	291 00	
4	Maçonnerie de pierre de taille.								
	Plinthes.................	2	24 50	0 35	0 50	8 58	11 55	11 00	
	Extrémités des parapets..	4	0 40	0 22	0 76	0 27			
	Babuts...................	2	24 50	0 25	0 22	2 70			
5	Maçonnerie de briques pour parapets................	2	25 70	0 22	0 76	7 95		8 00	
6	Parements vus de moellons parementés.								
	Berceau intérieur........	»	16 67	5 40	»	90 02	205 76	204 00	
	Têtes....................	2	»	»	56 87	113 74			
7	Parements vus de la pierre de taille.								
	Plinthes.................	2	24 50	»	0 80	39 20	74 56	75 00	
	Extrémités des parapets...	4	»	1 02	0 76	3 10			
	Babuts...................	2	24 50	»	0 65	31 85			
	Abouts de babuts.......	4	»	0 25	0 21	0 21			
8	Parements vus de la maçonnerie de briques.....	4	25 70	»	0 76	72 05		72 00	
9	Chape en béton de $0^m,10$ d'épaisseur...........	»	25 50	7 50	»	191 30		192 00	
10	Recouvrement en asphalte de $0^m,015$ d'épaisseur....	»	»	»	»	»		192 00	

NUMÉROS DU MÉTRÉ.	DÉSIGNATION DES OUVRAGES PARTIES D'OUVRAGES et indication de leur nature.	NOMBRE DES PARTIES ou pièces semblables.	DIMENSIONS réduites.			SURFACES, CUBES ou poids.			OBSERVATIONS.
			LONGUEUR pour chacune ou ensemble.	LARGEUR.	HAUTEUR ou épaisseur.	AUXILIAIRES.	PARTIELS.	DÉFINITIFS.	
	§ II. — *Cintres.*								
14	Bois équarri.								
	Une ferme.								
	Poinçon principal........	»	4 95	0 20	0 20	0 198			
	Contrefiches.............	2	4 40	0 20	0 20	0 352			
	Arbalétriers principaux...	2	8 20	0 25	0 20	0 820			
	Moises...................	2	13 10	0 20	0 15	0 786			
	Poinçon secondaire..	2	0 85	0 20	0 20	0 068			
	Arbalétriers secondaires..	4	4 00	0 20	0 20	0 640			
	Courbes..................	4	4 00	0 18	0 16	0 461			
	Petites billes...........	3	0 47	0 20	0 20	0 056			
	Semelles sous le poinçon principal........... ..	»	2 00	0 20	0 10	0 040			
	Total pour une ferme.	»	»	»	»	3 421			
	Pour quatre fermes......	4	»	»	»	3 421	13 684		
	Semelles................	6	5 40	0 25	0 10	0 810	1 038		
	Moises verticales.........	2	5 70	0 20	0 10	0 228			
	Cube total.........	»	»	»	»	»	14 722	14 80	
12	Planches en sapin de 0m,06 d'épaisseur........	»	16 67	5 40	»	90 02	»	90 00	
13	Fers pour boulons........	40	de 0m02 de diam. p. moy.			2k 20	88 00	88 00	
	§ III. — *Ouvrages divers.*								
14	Pavages en pavés d'échantillon............... ...	»	24 50	4 20	»	102 90	»	103 00	
15	Bordures de trottoirs.....	2	25 35	»	»	50 70	»	50 70	

DÉTAIL ESTIMATIF DU PONT ENTIER.

NUMÉROS DU MÈTRE.	DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET PARTIES D'OUVRAGES et indication de leur nature.	LONGUEUR DE 5m,40 — QUANTITÉS.	LONGUEUR DE 5m,40 — PRIX DE L'UNITÉ.	LONGUEUR DE 5m,40 — DÉPENSE — PARTIELLE.	LONGUEUR DE 5m,40 — DÉPENSE — TOTALE.	LONGUEUR DE 4m,40 — QUANTITÉS.	LONGUEUR DE 4m,40 — PRIX DE L'UNITÉ.	LONGUEUR DE 4m,40 — DÉPENSE — PARTIELLE.	LONGUEUR DE 4m,40 — DÉPENSE — TOTALE.
	§ Ier. — *Maçonneries.*								
1	Déblais pour fondations......	195 00				102 60			
2	Béton..................	»				»			
2 bis.	*Id.* avec matériaux provenant des déblais...............	»				»			
3	Maçonnerie de moellon ordinaire.....................	189 00				137 55			
3 bis.	Maçonnerie avec moellon provenant des déblais.........	102 00				»			
3 ter.	Maçonnerie de moellon pour faces vues................	192 00				95 65			
4	Maçonnerie de pierre de taille.	11 60				11 60			
5	Maçonnerie de briques... ...	8 00				8 00			
6	Parements vus de moellons parementés................	201 60				187 50			
6 bis.	Rejointoiements de moellons parementés................	204 00				187 30			
7	Parements vus de la pierre de taille..	75 00				75 00			
7 bis.	Rejointoiements vus de la pierre de taille..............	75 00				75 00			
8	Parements vus de la maçonnerie de briques.............	72 00				72 00			
9	Chaps en béton de 0,10 d'épaisseur......................	192 00				166 00			
10	Recouvrement en asphalte de 0,015 d'épaisseur..........	192 00				166 00			
	§ II. — *Cintres.*								
11	Bois équarri................	14 80				14 70			
12	Planche de 0,06 d'épaisseur..	90 00				73 50			
13	Fers pour boulons..........	88 00				88 00			
	§ III. — *Ouvrages divers.*								
14	Pavages en pavés d'échantillon	105 00				78 50			
15	Bordures de trottoirs........	50 70				50 70			
	Totaux..................	......	......	......		......	......	......	
	Sommes complémentaires..	......	......	......		......	......	......	
	Totaux généraux........	......	......	......		......	......	......	

En appliquant aux quantités indiquées dans la dernière colonne les prix variables de chaque localité, on aura le prix total du pont, sauf somme à valoir et rabais d'adjudication.

Un de ces ponts, entre Poitiers et la Rochelle, a coûté 10,400 fr.

PROJET

DE MARQUISES POUR COUVERTURES DE TROTTOIRS. (CHEMIN DE FER DE L'EST.)

Détail de la construction du specimen établi à la gare de Paris.

	kil.		fr.	fr.
2 colonnes en fonte de fer pesant ensemble.	220 »	à	45 »	99 »
8 consoles id. id.	71 »	à	50 »	35 50
1 ferme de 14 mètres de long sur 0m.50 de hauteur en doubles cornières de 0m,50mil. de côté, potelets et diagonales boulonnés, les uns en fer méplat de 0m.01 sur 0m,03, les autres en fer de 0m,01 sur 0m,04, ladite ferme pesant.	390 »	à	» 70	273 »
8 fermettes de chaque 3m,72 de longueur sur 0m,27 de hauteur moyenne en doubles cornières de 0m,27 de côté, potelets et décharges boulonnés de 0m,005 sur 0m,020, lesdites pesant ensemble.	217 »	à	1 20	260 40
35 pannes en fer T de 0m,035 et 0m,04 et 21 cornières de 0m,027 de côté, chaque de 2 mètres de long, pesant ensemble. . . .	238 90	à	» 75	179 18
Pour fixer les consoles, 40 boulons de 0m,10 de long avec têtes et écrous, pesant ensemble.	5 »	à	1 40	7 »
Pour réunir les fermettes aux consoles, 32 boulons de 0m,01 avec têtes et écroux, pesant ensemble.	1 14	à	2 »	2 28
Pour attacher la couverture aux pannes, 98 pattes et 98 vis, et pour relier les pannes aux fermettes, 112 vis ensemble.	6 50	à	3 »	19 50
Le chéneau de 14 mètres de long en zinc nº 14 par feuilles de 2 mètres produisant, y compris recouvrements, 14m,40, un poids de.	83 38	à	1 40	116 73
Pour les jonctions des tôles composant ledit chéneau, 98 vis et écroux.	4 »	à	3 »	12 »
Pour fixer le chéneau à la cloison ou au mur, 60 vis	1 50	à	3 »	4 50
Le lambrequin en tôle ondulée de 0m,0005 d'épaisseur 16m,75 de longueur développée, y compris recouvrement sur 0m,40 de large, ensemble.	32 »	à	1 40	44 80
Pour réunir les feuilles composant ledit lambrequin et le fixer aux cornières, 133 vis et écroux, ensemble.	5 33	à	3 »	15 99
La couverture en zinc nº 14 ondulé 42 feuilles de chaque 2 mètres sur 0m,80, ensemble.	400 »	à	1 »	400 »
Peintures.				
Détail d'une travée de 14 mètres peinte en gris à l'huile 1 couche, et minium 1 couche. .				
4 cornières, chaque 14 mètres.	56 mètres			
28 décharges, chaque 0m,55.	15m.40			
A reporter.	71 40			1169 88



			fr.
Report.		71m,40	1469 88
28 montants, chaque 0m,50		14 mètres.	
8 fnmattes intermédiaires, détail d'une.			
4 cornières, chaque 3m,80	15m,20		
13 décharges, chaque 0m,30, réduites	3m,90		
14 montants, chaque 0m,22, réduits	3m,08		
Produit pour une	22m,18		
et les 8 ensemble		177 44	
8 consoles évaluées, chaque 2 mètres		16 »	
8 cours de panues, chaque 14 mètres		112 »	
Ensemble		39 84 à 0.11 le m.	42 99
2 colonnes, chaque 3m,74 × 0m,42		3 14	
Sous-face de la couverture de 15 mètres × 3m,80 développés à 0/0 $\frac{1}{18}$ pour plus-value des recouvrements		62 70	
Chéneau 14 mètres × 0,51		7 14	
Lambrequin 15 mètres × 0m,40 à 2 faces et à 0/0 $\frac{1}{10}$		13 20	
Ensemble		86 18 à 0,70 la m.	60 33
			1573 20

La superficie de la Marquise ci-dessus étant 56 mètres. (Longueur 14 mètres, largeur tout compris 4 mètres.)

Le mètre superficiel reviendrait à . . . . . $\left\{ \frac{1573\ 20}{56} \right.$ = 28 fr. 09 c.

La compagnie de l'Est vient de traiter pour ces marquises à raison de 25 fr. le mètre superficiel.

Ces marquises couvrent le trottoir dans toute sa largeur et s'avancent jusqu'au-dessus des voitures, de façon que les voyageurs y montent ou en descendent à couvert.

FIN DU PREMIER VOLUME.



AVIS AU RELIEUR

POUR LE PLACEMENT DES CARTES, TABLEAUX ET PLANCHES

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE VOLUME

CHAPITRE III. — NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA DISPOSITION DES VOIES, SUR LES MOTEURS QUI Y SONT EMPLOYÉS ET SUR LES AVANTAGES DES CHEMINS DE FER AU POINT DE VUE TECHNIQUE.

CHAPITRE IV. — DU TRACÉ DES CHEMINS DE FER.

CHAPITRE V. — FRAIS DE CONSTRUCTION DES CHEMINS ÉTABLIS ET RÉDACTION DES DEVIS POUR LES CHEMINS A CONSTRUIRE.

CHAPITRE VI. — Des travaux de terrassement et des travaux d'art.

CHAPITRE VII. — ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

CHAPITRE VIII. — Accessoires de la voie.

DOCUMENTS.


Digitized by Google

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES DU PREMIER VOLUME.